ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1903 г. ТОМЪ 4 No. 2

Физическія причины, обусловливающія отступленія отъ гравитаціоннаго закона Ньютона[1])

П. Н. Лебедева.

Вопросы объ отступленіяхъ отъ основного закона притяженія массъ и о физическихъ причинахъ, обусловливающихъ эти отступленія, принадлежатъ къ числу самыхъ старыхъ вопросовъ астрофизики—они старѣе, чѣмъ самый законъ Ньютона: три столѣтія прошло съ того времени, когда Кеплеръ впервые остановился на этихъ вопросахъ и, указалъ на такое рѣшеніе ихъ, лучше котораго мы и въ настоящее время не можемъ найти. Въ самой рѣзкой и притомъ наиболѣе простой формѣ это отступленіе отъ ньютоновскаго закона сказывается въ движеніи кометныхъ хвостовъ, гдѣ оно проявляется въ видѣ рѣзко выраженной отталкивательной силы солнца. Исторія развитія воззрѣній на природу этой отталкивательной силы солнца и физическое обоснованіе этихъ воззрѣній принадлежатъ къ наиболѣе интереснымъ главамъ астрофизики: здѣсь мы можемъ прослѣдить на протяженіи трехъ столѣтій ту тѣсную связь, которая существуетъ между астрономическими теоріями и господствующими физическими представленіями [2]).

---

[1]) Сообщеніе сдѣланное на Съѣздѣ нѣмецкаго Астрономическаго Общества въ Гёттингенѣ 4 августа 1902 г.

[2]) Исторія развитія этихъ взглядовъ обстоятельно изложена у *de Mairan* „Traité physique et historique de l'Aurore Boréale (Seconde edition)". Paris. 1754 и у *F. Zöllner*, Wissenschaftliche Abhandlungen, 2 Bd., 2 Th. Lpz. 1878.

Кеплеръ (1608) высказалъ предположеніе, что кометные хвосты суть газообразныя испаренія кометнаго ядра, которыя движутся независимо отъ этого послѣдняго и въ отличіе отъ него не притягиваются, а *отталкиваются* солнцемъ; физическую причину этого отталкиванія Кеплеръ искалъ въ дѣйствіи лучей солнца: господствовавшею въ его время теоріею свѣта была теорія истеченія, которая, какъ къ необходимому механическому слѣдствію, приводила къ представленію, что *лучи свѣта давятъ* на тѣ тѣла, на которыя они падаютъ; объясненіе отталкиванія кометныхъ хвостовъ свѣтовымъ давленіемъ не представляло никакихъ затрудненій.

Ньютонъ [1]) указалъ, что то объясненіе явленія отталкивательныхъ силъ солнца давленіемъ его лучей, которое далъ Кеплеръ, вполнѣ допустимо, но самъ онъ сдѣлалъ попытку подвести отталкиваніе кометныхъ хвостовъ подъ общій законъ притяженія массъ, полагая что въ этомъ случаѣ мы имѣемъ дѣло лишь съ „кажущимся" отталкиваніемъ; Ньютонъ исходилъ изъ гипотезы, что міровое пространство заполнено газообразнымъ веществомъ болѣе плотнымъ, нежели газы кометныхъ хвостовъ: эти послѣднія всплываютъ въ окружающей средѣ (по закону Архимеда) и слѣдовательно только кажущимся образомъ отталкиваются солнцемъ.

Эйлеръ [2]) (1744), видя всѣ тѣ затрудненія, къ которымъ ведетъ гипотеза Ньютона, снова обратился къ данному Кеплеромъ объясненію отталкивательной силы солнца давленіемъ его лучей. Въ качествѣ яраго противника гипотезы истеченія въ ученіи о свѣтѣ Эйлеръ сталъ на точку зрѣнія Гюйгенса и предположилъ, что свѣтъ представляетъ собою продольное колебательное движеніе свѣтоваго эѳира; онъ обосновывалъ явленіе свѣтового давленія, разсматривая это послѣднее, какъ результатъ безпрерывнаго ряда механическихъ толчковъ, которые производятъ продольныя колебанія свѣта при паденіи на поверхность какого-либо тѣла [3]).

Около половины восемнадцатаго столѣтія, приблизительно за 35 лѣтъ до того, какъ Кэвендишу (1789) впервые удалось въ

---

[1]) *I. Newton*, Principia philosophiae naturalis mathematica Lib. III. Londoni 1687.

[2]) *L. Euler*. См. Zöllner l. c. p. 525.

[3]) *L. Euler*, Histoire de l'Academie Royale de Berlin 2. p. 121. 1746.

лабораторіи наблюдать притяженіе массъ, де Мэранъ и дю Фэ[1]) (1754) дѣлали первыя попытки непосредственно *опытнымъ путемъ* изслѣдовать давленіе свѣтовыхъ лучей; свои опыты де Мэранъ и дю Фэ производили замѣчательно остроумнымъ способомъ, но они натолкнулись на такія затрудненія (вихри въ нагрѣтомъ воздухѣ), которыя для экспериментальныхъ средствъ восемнадцатаго столѣтія оказались непреодолимыми, и должны были оставить вопросъ о существованіи свѣтового давленія открытымъ.

Въ девятнадцатомъ вѣкѣ общій интересъ къ изученію движенія кометъ былъ привлеченъ знаменитыми изслѣдованіями Ольберса (1812); онъ указалъ, что съ отталкиваніемъ, которое производитъ солнце на хвосты кометъ, надо считаться, какъ съ явленіемъ, непосредственно вытекающимъ изъ всѣхъ наблюденій; что касается до объясненія физической причины этого отталкиванія, то Ольберсъ[2]) отвергъ объясненія, данныя Кеплеромъ и Ньютономъ, какъ гипотезы опытомъ недоказанныя, и съ своей стороны въ очень осторожной формѣ высказалъ новое предположеніе. „Трудно удержаться, говоритъ онъ, чтобы въ этомъ случаѣ не подумать о чемъ-либо аналогичномъ нашимъ электрическимъ притяженіямъ и отталкиваніямъ". Если мы будемъ имѣть въ виду, что Ольберсъ высказалъ свое предположеніе во время первыхъ тріумфовъ электрическихъ изслѣдованій, то станетъ легко понятнымъ сведеніе отталкивательной силы солнца къ силамъ электрическимъ, законъ дальнодѣйствія которыхъ уже былъ установленъ непосредственными опытами Кулона (1785).

„Электрическая" теорія Ольберса стала господствующею: свойства электрическихъ силъ убывать пропорціонально квадрату разстоянія (свойство, которое присуще также и силамъ свѣтового давленія) оказалось достаточнымъ для построенія простой теоріи кометныхъ хвостовъ, которая была дана Бесселемъ[3]) и позволяла опредѣлять *абсолютную величину* отталкивательной силы солнца изъ кривизны кометныхъ хвостовъ; изъ измѣреній большого числа кометныхъ хвостовъ Ф. А. Бредихинъ[4]) опредѣлилъ величины отталкивательныхъ силъ, и нашелъ, что онѣ являются характерными постоянными различныхъ веществъ, нахо-

---

[1]) *de Mairan* et *du Fey*. См. de Mairan, l. c. p. 371.

[2]) *W. Olbers*. Leben und Werke. *1*. p. 331. Berlin. 1894.

[3]) *Bessel*, Astronom. Nachr. *13*. p. 185. 1836.

[4]) *Th. Bredichin*, Annales de l'observ. de Moscou (2) *1*. p. 45. 1886.

дящихся въ хвостахъ кометъ; абсолютныя величины отталкивательныхъ силъ (по сравненію съ силою притяженія) Ф. А. Бредихинъ нашелъ равными 0·2, 1·1 и 17·5.

„Электрическая" теорія Ольберса опирается на двѣ гипотезы: во-первыхъ, что на солнцѣ находится постоянный электрическій зарядъ, и во-вторыхъ, что отдѣльныя молекулы газовъ хвоста при ихъ выдѣленіи изъ кометнаго ядра получаютъ электрическіе заряды одноименные съ зарядомъ солнца. За время существованія этихъ гипотезъ физическое обоснованіе ихъ не сдѣлало сколько-нибудь замѣтныхъ успѣховъ: предположеніе, что на солнцѣ находится электрическій зарядъ удается привести въ связь съ магнитными явленіями на землѣ, лишь прибѣгая къ добавочнымъ гипотезамъ; впрочемъ до сихъ поръ не удалось опредѣлить не только абсолютной величины заряда солнца, но даже знака его. Что касается до электризаціи отдѣльныхъ молекулъ при тѣхъ условіяхъ, при которыхъ согласно второй гипотезѣ она должна имѣть мѣсто, то такого рода электризація физики и по сей день не могли подмѣтить въ своихъ лабораторныхъ опытахъ.

Чтобы доказать существованіе электризаціи газовъ хвоста, часто указываютъ на сходство свѣченія кометныхъ хвостовъ со свѣченіемъ въ гейслеровскихъ трубкахъ; такой способъ доказательства не выдерживаетъ критики и противорѣчитъ принципу сохраненія энергіи, согласно которому всякое свѣченіе сопряжено съ отдачею энергіи, а таковое не можетъ имѣть мѣсто въ случаѣ электро*статически* неизмѣнно заряженныхъ газовыхъ молекулъ; причину свѣченія кометныхъ хвостовъ слѣдуетъ искать во флуоресценціи сильно освѣщенныхъ газовъ, которую непосредственно опытнымъ путемъ изслѣдовали Ломмель [1]), Видеманъ и Шмидтъ [2]).

Насколько серіозны тѣ возраженія, которыя можно сдѣлать противъ существованія выше приведенныхъ электрическихъ гипотезъ, указалъ самъ Цёльнеръ [3]), которому физическое обоснованіе электрической теоріи обязано болѣе, чѣмъ кому-либо другому: онъ заявилъ, что отступится отъ электрической теоріи, коль скоро

---

[1]) *E. Lommel*, Wied. Ann. *19*. p. 356. (1883).

[2]) *E. Wiedemann* und *G. C. Schmidt*, Wied. Ann. *56*. p. 18. (1895) и *57*. p. 447. (1896).

[3]) *F. Zöllner*, Uber die Natur der Kometen. p. 198. Lpz. 1872.

будетъ доказано, что лучи солнца могутъ производить давленіе на освѣщаемыя ими тѣла.

Существованіе давленія свѣта было обосновано (совершенно независимо отъ какихъ-либо астрофизическихъ теорій) тридцать лѣтъ тому назадъ Максвеллемъ[1]), какъ слѣдствіе электромагнитной теоріи свѣта, а также Бартоли (1876), какъ слѣдствіе второго принципа термодинамики[2]); эти теоретическія изслѣдованія приводятъ къ тождественному результату, что силы свѣтового давленія непремѣнно должны существовать и что онѣ связаны простымъ соотношеніемъ съ количествомъ энергіи (E), падающей въ секунду въ формѣ параллельныхъ лучей на данное тѣло. Давленіе (p), производимое свѣтомъ на поглощающую его поверхность тѣла, опредѣляется такъ

$$p = \frac{E}{v},$$

гдѣ v скорость свѣта.

Солнечные лучи на разстояніи земли отъ солнца давятъ на поглощающую поверхность въ 1 □ m. съ силою, равною вѣсу 0·5 mgr.

За послѣднее время удалось мнѣ[3]), а также Никольсу и Гулю[4]) непосредственными лабораторными опытами констатировать дѣйствительное существованіе свѣтового давленія, причемъ соотношеніе, данное Максвеллемъ и Бартоли, оказалось *количественно* имѣющимъ мѣсто.

За долго передъ тѣмъ, какъ появились эти опытные изслѣдованія, Фитцъ-Джеральдъ[5]) уже приложилъ теоретическія изслѣдованія Максвелля къ объясненію отступленій отъ ньютоновскаго закона всемірнаго тяготѣнія въ случаѣ движенія кометъ; но онъ сдѣлалъ при этомъ принципіальную ошибку: онъ распространилъ добытые имъ результаты на отдѣльные молекулы кометныхъ хвостовъ, не принявъ во вниманіе, что выводы Максвелля относятся только къ тѣламъ, размѣры которыхъ велики по сравненію съ длиною волнъ падающихъ на нихъ лучей. Отъ этой

---

[1]) *J. C. Maxwell*, Traitise on Electricity and Magn. § 792 (1873).

[2]) *A. Bartoli*, Nuovo Cimento *15*. p. 195. (1883).

[3]) *P. Lebedew*, Ann. d. Phys. (4). *6*. p. 433. 1901., а также Ж. Р. Ф.-Х. О. *33*. p. 53. 1901.

[4]) *F. Nichols* und *Hull*, Physik. Rew. *13*. p. 307 (1901).

[5]) *Fitzgerald*, Proceed. Roy. Soc. Dublin. *3*. 344. (1883).

ошибки свободны соображенія, высказанныя одновременно Лоджемъ[1]) и мною[2]) относительно отталкивательной силы солнца, а также соображенія, сдѣланныя мною[3]) относительно деформацій и исчезновеній кометныхъ ядеръ, тогда какъ Аррениусъ[4]), развивая основы своей теоріи солнечной короны, снова сдѣлалъ эту ошибку.

Общее притягательное дѣйствіе солнца (F) на шаровидное тѣло, размѣры котораго велики сравнительно съ длинами волнъ падающихъ на него солнечныхъ лучей, можетъ быть выражено въ гравитаціонныхъ единицахъ слѣдующимъ образомъ[5]):

$$F = 1 - \frac{10^{-4}}{r\delta},$$

гдѣ r—радіусъ шара, выраженный въ cm., а δ—плотность тѣла (по отношенію къ водѣ).

Отсюда сразу видно, что для тѣла, размѣры котораго болѣе 1 m. отступленія отъ ньютоновскаго закона всеміpнаго тяготѣнія исчезаютъ въ предѣлахъ ошибокъ наблюденій самыхъ точныхъ астрономическихъ измѣреній. Если кометное ядро состоитъ изъ роя метеоритовъ, размѣры которыхъ меньше 1 cm., то—при выгодныхъ условіяхъ наблюденія кометы—отступленія отъ закона Ньютона какъ разъ еще можно обнаружить; если размѣры метеоритовъ роя еще меньше, то отступленія отъ упомянутаго закона будутъ соотвѣтственно больше. Можно однако и наоборотъ утверждать, что въ томъ случаѣ, когда отступленій отъ закона Ньютона не наблюдается и предѣлъ ошибокъ наблюденій извѣстенъ, то размѣры метеоритовъ кометнаго ядра *не могутъ быть меньше* извѣстной величины.

Въ томъ случаѣ, когда кометное ядро представляетъ собою рой достаточно малыхъ метеоритовъ, размѣры которыхъ не одинаковы, это кометное ядро будетъ непрерывно деформироваться и расплыватъся, что при періодическихъ кометахъ должно сказаться особенно сильно. Обычнымъ способомъ напередъ вычисленная изъ имѣющихся наблюденій дальнѣйшая орбита долж-

---

[1]) *O. Lodge*, Nature. Sept. 1891. p. 454.

[2]) *P. Lebedew*, Wied. Ann. *45*. p. 292. (1892).

[3]) *P. Lebedew*, Rapports présentés au Congrès International de Physique à Paris 2. p. 133. (1900).

[4]) *S. Arrhenius*, Physik. Zeitschr. *2*. p. 81. 1900.

[5]) См. Wied. Ann. *45*. p. 294. (1892).

на очень сильно расходиться съ орбитою впослѣдствіи наблюдаемою; можетъ быть этимъ способомъ можно объяснить особенности въ явленіяхъ движенія Бьелидовъ.

На пылинки, размѣры которыхъ измѣряются тысячными долями миллиметра и которыя слѣдовательно сравнимы съ длинами волнъ падающихъ на нихъ лучей солнца, приведенная выше формула не можетъ быть распространена: Шварцшильдъ[1]) показалъ, что въ этомъ случаѣ отталкивательная сила солнца при извѣстныхъ размѣрахъ пылинокъ достигаетъ максимальной величины и затѣмъ быстро падаетъ при дальнѣйшемъ уменьшеніи ихъ размѣровъ.

Когда солнечные лучи падаютъ на отдѣльныя молекулы газа, то въ этихъ послѣднихъ имѣетъ мѣсто явленіе резонанса, сопровождаемое давленіемъ падающихъ на нихъ лучей, что мною[2]) было указано. Въ этой области, которая представляетъ собою наибольшій интересъ для астрофизики, необходимо еще ожидать появленіе соотвѣтствующихъ непосредственныхъ экспериментальныхъ изслѣдованій.

Обращаясь къ исторіи развитія нашихъ представленій о физической причинѣ отступленій отъ ньютонова закона всемірнаго тяготѣнія, мы видимъ, что то представленіе о ней, которое три столѣтія тому назадъ высказалъ Кеплеръ и которое сперва было оттѣснено гипотезою „всплыванія" Ньютона, а затѣмъ электрическою гипотезою Ольберса, въ настоящее время снова выступаетъ на передній планъ, опираясь теперь съ одной стороны на теоретическія обоснованія Максвелля и Бартоли, а съ другой на непосредственныя опытныя изслѣдованія. Представленіе Кеплера является намъ сейчасъ въ формѣ физически обоснованной теоріи: мы *должны* теперь утверждать, что солнце обладаетъ отталкивательною силою; изъ нашихъ лабораторныхъ опытовъ мы знаемъ, какъ велики силы давленія производимаго свѣтомъ на разныя тѣла, и можемъ напередъ *количественно* указать то отступленіе отъ закона Ньютона, которое *непремѣнно должно существовать*, и разобрать тѣ слѣдствія, которыя отсюда проистекаютъ.

---

[1]) *K. Schwarzschild*, Ber. d. Münch. Akad. d. Wiss. (1901).

[2]) *P. Lebedew*, Wied. Am. *62*. p. 170—172. (1897). Въ случаѣ газовъ величина свѣтоваго давленія равняется количеству поглощенной энергіи, раздѣленной на скорость свѣта; отношеніе между коэффиціентомъ поглощенія и массою газа очень различно для различныхъ газовъ.

Вопросъ о томъ, существуютъ-ли электрическія силы, которыя въ томъ или другомъ случаѣ обусловливаютъ замѣтныя отступленія отъ закона Ньютона, этотъ вопросъ въ настоящее время является *открытымъ:* только послѣ того, какъ мы *количественно* приняли въ разсчетъ силы свѣтового давленія, которыя *безусловно существуютъ,* и выдѣлили ихъ, только тогда мы можемъ дать себѣ отчетъ существуетъ-ли еще какая-нибудь добавочная сила, которая заставляла бы насъ дѣлать новыя гипотезы или же представленіе Кеплера исчерпываетъ всѣ особенности наблюдаемаго отступленія отъ закона Ньютона.

Москва. Октябрь 1902.

Некрологъ А. Корню

Н. Д. Пильчикова.

Краткая болѣзнь, принявшая неожиданно тяжелое теченіе, унесла академика Корню въ то время, когда онъ въ сотрудничествѣ съ Перротеномъ подготовлялъ въ окрестностяхъ Ниццы новые опыты по опредѣленію скорости свѣта. Корню скоропостижно скончался въ Шансонери, среди весенняго расцвѣта южной природы, полный научныхъ плановъ, энергичный, отзывчивый на безконечно разнообразные запросы физики, того океана знанія, который постепенно поглощаетъ другъ за другомъ всѣ вѣтви науки о природѣ.

Корню родился въ 1841 г. Девятнадцати лѣтъ онъ поступилъ въ Парижскую Политехническую Школу, въ которой затѣмъ былъ до самой смерти знаменитымъ и блестящимъ профессоромъ. Курсъ физики, который онъ читалъ въ Политехнической Школѣ, замѣчателенъ своею содержательностью и въ то же время краткостью изложенія, своею простотою и строгостью; онъ выгодно выдѣляется изъ массы другихъ курсовъ умѣлымъ и умѣстнымъ пользованіемъ методомъ исчисленія безконечно-малыхъ и полнымъ отсутствіемъ всѣхъ злополучныхъ „элементарныхъ доказательствъ“—этого бича нашего преподаванія физики. Окончивъ въ 1864 г. Политехническую Школу со степенью гор-

наго инженера, Корню сосредоточился на изученіи оптики, любовь къ которой онъ получилъ еще на школьной скамьѣ подъ руководствомъ Вердэ. Корню повторилъ всѣ классическіе опыты основателя и творца упругой оптики Френеля, имя котораго Корню всегда произносилъ съ благоговѣніемъ. Въ 1867 г. Вердэ умеръ и Корню унаслѣдовалъ отъ него каѳедру физики въ Политехнической Школѣ, сдѣлавшись такимъ образомъ профессоромъ чрезъ три года по окончаніи курса. Корню тогда уже настойчиво занимала мысль произвести новое опредѣленіе скорости свѣта, пользуясь методомъ Физо, и разработать этотъ методъ такъ, чтобы получить результаты значительно большей точности, чѣмъ то удалось самому Физо. Корню энергично взялся за работу и чрезъ нѣсколько лѣтъ представилъ Парижской Академіи Наукъ результаты своихъ необычайно тщательныхъ и остроумныхъ опытовъ, въ которыхъ были впервые примѣнены къ данному вопросу точнѣйшіе хронографическіе пріемы. Въ первой серіи опытовъ (1874 г.) конечными пунктами, между которыми свѣтъ прибѣгалъ дважды отъ зубчатки до отражающаго зеркала и обратно, были лабораторія Корню въ Политехнической Школѣ и Монвалеріенъ, разстояніе между коими въ 10310 m. значительно превосходило подобное же разстояніе въ опытахъ Физо (Сюренъ-Монмартръ, 8633 m.). Въ виду нѣкотораго разногласія между астрономическими опредѣленіями скорости свѣта и результатами, полученными Физо, Фуко и Корню, совѣтъ Парижской Обсерваторіи по предложенію своего предсѣдателя, знаменитаго астронома Леверье, поручилъ Корню вновь заняться опытною разработкою метода Физо, увеличивъ еще болѣе разстояніе, дважды прибѣгаемое лучемъ свѣта. Въ 1878 г. Корню предался съ величайшимъ вниманіемъ и энергіею новымъ опытамъ, поставленнымъ между Парижскою обсерваторіею и Монлери на разстояніи 22910 m. Эти работы дали для скорости свѣта ставшее классическимъ число 300400 километровъ въ секунду съ погрѣшностью лишь около одной тысячной. Парижская Академія наукъ наградила изслѣдованія Корню одною изъ крупнѣйшихъ своихъ премій (преміею Лаказа) и почтила Корню избраніемъ въ свою среду на мѣсто, освободившееся за смертію академика Беккереля-отца.

Несмотря на крайнюю точность наблюденій и выработанность метода Физо, Корню всю жизнь занимала мысль о дальнѣйшихъ усовершенствованіяхъ этого метода. Смерть застала

Корню во время новой серіи опытовъ надъ скоростью свѣта, которые онъ предпринялъ въ Ниццкой обсерваторіи, при чемъ разстояніе между зубчаткою и зеркаломъ доводилось до 40000 m.! Изучая свою новую установку, Корню надѣялся понизить вѣроятную погрѣшность опредѣленія скорости свѣта до той поразительно малой величины, до которой довели американскіе ученые (Ньюкомбъ, Майкельсонъ и Голкомбъ) методъ Фуко, методъ вращающагося зеркала[1]).

Научная продуктивность Корню весьма значительна; большинство его работъ извѣстно однако только спеціалистамъ: Корню никогда не гонялся за модными темами, внося свой крупный талантъ экспериментатора и аналитика въ разработку тѣхъ вопросовъ, которые занимали его самого. Большинство работъ принадлежитъ все той же оптикѣ, упругой оптикѣ, которую онъ полюбилъ съ юношескихъ лѣтъ. Такъ онъ занимается изученіемъ явленій отраженія свѣта отъ кристаллическихъ тѣлъ, разработываетъ оптическій методъ опредѣленія коэффиціента упругости, при помощи наблюденій надъ ньютоновскими кольцами, вычисляетъ деформацію твердыхъ тѣлъ подъ дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ и опредѣляетъ отношеніе поперечнаго сжатія растянутой или согнутой призмы къ ея продольному удлиненію, дѣлаетъ капитальнѣйшія измѣренія длинъ ультрафіолетовыхъ лучей солнечнаго спектра, изучаетъ поглощеніе этихъ лучей земною атмосферою, даетъ остроумнѣйшій способъ отдѣленія въ солнечномъ спектрѣ теллурическихъ линій отъ собственно солнечныхъ, изслѣдуетъ спектръ водорода, изучаетъ свойства легкообратимыхъ спектральныхъ линій, изучаетъ ахроматизмъ въ явленіяхъ интерференціи, изучаетъ фокальныя свойства оптическихъ сѣтокъ и т. д.

Всѣ свои работы Корню сообщалъ обыкновенно въ засѣданіяхъ Французскаго Физическаго Общества и Академіи Наукъ, въ протоколахъ которыхъ помѣщались краткія замѣтки, выроставшія большею частію въ обстоятельные статьи въ журналѣ По-

---

[1]) Именно до одной десятитысячной; къ сожалѣнію въ методѣ вращающагося зеркала возможны ошибки значительно бóльшія, которыхъ пока невозможно ни предвидѣть, ни устранить. Эти ошибки, или по крайней мѣрѣ опасенія ихъ существованія, зависятъ отъ неизвѣстности законовъ отраженія свѣта отъ быстро вращающихся тѣлъ (частичное увлеченіе эѳира быстро движущеюся матеріею).

литехнической Школы. Эти замѣтки и статьи по своей важности и содержательности сто́ятъ большихъ томовъ...

Одной изъ наиболѣе продолжительныхъ и наиболѣе хлопотливыхъ работъ была знаменитая работа Корню (совмѣстно съ Байлемъ) надъ опредѣленіемъ средней плотности земного шара по методу Мичеля-Кавендиша. Это замѣчательное изслѣдованіе велось въ глубокомъ подземельѣ Политехнической Школы, начиная съ 1870 г. Когда я подъ руководствомъ Корню осматривалъ установку двадцать лѣтъ спустя послѣ ея сборки, то и тогда еще Корню не считалъ свои изслѣдованія оконченными; въ опытахъ предшественниковъ Корню и Байля оставалось много неопредѣленнаго, неизученнаго, пертурбирующаго результаты, согласіе которыхъ было явно недостаточное. Такъ у Кавендиша отдѣльныя опредѣленія средней плотности земли варіировали въ широкихъ предѣлахъ отъ 4·8 до 5·8! Сравненіе среднихъ величинъ изъ опытовъ Кавендиша 5·45 (1798 г.), Рейха 5·49 (1837 г.), Байли 5·67 (1841 г.) и позднѣйшихъ опытовъ Рейха 5·58 (1852 г.) не обезпечивало знанія искомой величины даже до одной пятидесятой! Корню и Байль, взявшись за новые опыты, прежде всего изучили детально ходъ своихъ крутильныхъ вѣсовъ, размѣры которыхъ имъ удалось уменьшить въ четыре раза сравнительно съ размѣрами, считавшимися прежде необходимыми для этого рода опыта. О величайшей осторожности и строгости, съ которыми Корню и Байль относились къ своимъ опытамъ, лучше всего свидѣтельствуетъ уже одно то обстоятельство, что прежде, чѣмъ довѣриться выбранной ими серебряной нити крутильныхъ вѣсовъ, несущей алюминіевый рычагъ съ отклоняемыми грузами, они выждали болѣе года, пока упругія послѣдѣйствія исчезли и нить пришла въ окончательное состояніе. О той сложности и запутанности изучаемаго явленія, которыя надо было преодолѣть, чтобы получить значительно бо́льшую степень точности, чѣмъ вышеуказанная, могутъ служить убѣдительнѣйшимъ свидѣтельствомъ тотъ любопытный фактъ, что при всѣхъ принятыхъ Корню и Байлемъ предосторожностяхъ все-таки въ первые годы лѣтнія серіи наблюденій доставляли иныя числа, чѣмъ зимнія (лѣтомъ средняя плотность земли опредѣлялась въ 5·56, а зимою въ 5·50).

Побѣдивъ массу экспериментальныхъ затрудненій, Корню и Байль выработали настолько совершенную установку, что осмотръ ея необыкновенно правильнаго функціонированія достав-

лялъ ученымъ всѣхъ сторонъ, посѣщавшимъ знаменитое подземелье Политехнической Школы, не только въ высокой степени поучительное, но, для физика-экспериментатора, положительно очаровательное зрѣлище. Здѣсь, какъ и всегда, самый приступъ Корню къ работѣ носитъ отпечатокъ оригинальности и научнаго остроумія. Въ изслѣдованіяхъ, о которыхъ идетъ рѣчь, существеннымъ источникомъ погрѣшностей являлись, считавшіяся неустранимыми, сотрясенія, производившіяся механизмомъ, который тяжелые „притягивающіе" шары перемѣщаетъ относительно другой пары меньшихъ шаровъ, подвѣшенныхъ на крутильныхъ вѣсахъ. О вредѣ, который причиняли эти сотрясенія, можно судить изъ того, что, пересмотрѣвъ внимательно наблюденія Байли, Корню нашелъ безусловно ошибочными всѣ тѣ числа, которыя опредѣлялись тотчасъ послѣ перемѣщенія притягивающихъ массъ относительно притягиваемыхъ. Исключивъ эти ошибочныя данныя изъ серіи чиселъ Байли, Корню получилъ вмѣсто вышеуказаннаго числа (5·67), гораздо болѣе близкій къ истинѣ результатъ, именно 5·55. Пріемомъ, геніальнымъ по оригинальности и цѣлесообразности, Корню совершенно освободилъ свои опыты отъ „сотрясеній": перемѣщенія отклоняющихъ массъ цѣликомъ, неизбѣжно влекущія за собою, такъ сказать, микросеисмы, онъ замѣнилъ медленнымъ переливаніемъ. Свинецъ онъ замѣнилъ ртутью, которая совершенно плавно наполняла то ту, то другую пару стеклянныхъ шаровъ, соединенныхъ системою трубокъ между собою и съ резервуаромъ выкачаннаго воздуха. Легкій плавный поворотъ крана, и приборъ автоматически дѣйствуетъ въ томъ или другомъ направленіи.

Изслѣдованіемъ средней плотности земли не исчерпываются работы Корню внѣ его любимой области—оптики. Нерѣдко Корню брался за разработку и другихъ вопросовъ, привлекавшихъ его вниманіе своими трудностями. Какъ физикамъ, такъ и астрономамъ памятна его мастерская полемика съ астрономомъ Вольфомъ, по важному вопросу о синхронизаціи колеблющихся системъ (въ частности часовъ), полемика, изъ которой Корню вышелъ побѣдителемъ и далъ рѣшеніе этого труднѣйшаго вопроса. Корню принималъ дѣятельное участіе въ трудахъ международнаго общества электриковъ въ Парижѣ, занимался вопросомъ объ измѣненіяхъ скорости моторовъ и т. д.

Много времени уходило у Корню на его многочисленныя обязанности, связанныя съ званіемъ члена Бюро Долготъ и дру-

гихъ ученыхъ комиссіи. Во всѣхъ крупнѣйшихъ научныхъ экспериментальныхъ предпріятіяхъ, организованныхъ французскимъ правительствомъ самостоятельно или совмѣстно съ другими государствами, какъ напр. астрофизическія изслѣдованія въ связи съ прохожденіемъ Венеры чрезъ солнечный дискъ, выработка нормальныхъ прототиповъ метрическихъ мѣръ и т. п., на Корню возлагалась масса наиболѣе отвѣтственнаго и наиболѣе важнаго труда.

Какъ лекторъ Корню былъ безусловно выдающійся. Мнѣ не пришлось послушать его въ Политехнической Школѣ, но я не разъ слышалъ его доклады въ Академіи, во Французскомъ Физическомъ Обществѣ, на конгрессахъ. Особенно памятна мнѣ его прекрасная публичная лекція, прочтенная въ 1889 г. членамъ международнаго конгресса метеорологовъ на тему „Объ оптическихъ явленіяхъ атмосферы". Еще и теперь живо вспоминается мастерское изложеніе и изящные опыты Корню...

Вспомнивъ объ этой лекціи, я не могу не остановиться на интересной экскурсіи Корню въ область метеорологіи.

Изучая свѣтовую поляризацію, Корню въ 1880 г. комбинировалъ весьма простой и удобный приборъ для опредѣленія количества поляризованнаго свѣта въ любомъ пучкѣ свѣтовыхъ лучей. Этотъ приборъ, фотополяриметръ, направленный въ ту точку вертикальнаго небеснаго круга, проходящаго чрезъ солнце (или луну), которая находится на разстояніи 90° отъ свѣтила, позволяетъ точно опредѣлить въ процентахъ, максимальную поляризацію свѣта атмосферы съ легкостью и простотою, пожалуй превосходящими простоту опредѣленія давленія воздуха по отсчету барометра. Предположивъ, и совершенно основательно, что значительныя колебанія, замѣчаемыя отъ поры до времени въ количествѣ поляризованнаго свѣта атмосферы, не могутъ не быть въ связи съ измѣненіями другихъ метеорологическихъ данныхъ, Корню началъ производить регулярныя наблюденія и пришелъ къ цѣлому ряду выводовъ, имѣющихъ для метеорологіи весьма важное значеніе, совершенно не оправдывающее того поразительнаго индиферентизма, который обнаружили записные метеорологи по отношенію къ предложенному однимъ изъ авторитетнѣйшихъ физиковъ XIX вѣка новшеству. Резюмируя для международнаго конгресса метеорологовъ въ 1889 г. свои многолѣтнія фотополяриметрическія наблюденія, Корню говоритъ меж-

ду прочимъ: „что́ особенно заслуживаетъ вниманія, такъ это то, что внезапныя измѣненія количества поляризованнаго свѣта всегда свидѣтельствуютъ о глубокомъ измѣненіи метеорологическихъ условій гораздо раньше, чѣмъ другіе инструменты—барометръ, термометръ и гигрометръ—даютъ какія-либо указанія, нерѣдко даже раньше, чѣмъ другіе болѣе извѣстные предвѣстники измѣненія погоды, каковы перистыя облака и солнечныя вѣнчики". Грустно сознаться, но обращенія Корню къ метеорологамъ въ теченіе вотъ уже около двадцати лѣтъ не привели почти ни къ чему и, насколько мнѣ извѣстно, лишь три метеорологическія обсерваторіи заинтересовались фотополяриметрическимъ изученіемъ атмосферы: Пьюдедомская, Харьковская и Одесская, завѣдующій которой проф. Клоссовскій оцѣнилъ значеніе этихъ изслѣдованій и ввелъ ихъ въ число обязательныхъ занятій обсерваторіи. А между тѣмъ, если бы во многихъ мѣстахъ земного шара были накоплены многолѣтнія наблюденія надъ поляризаціею неба, можно съ увѣренностью утверждать, что вполнѣ оправдались бы слова Корню, сказанныя на томъ же конгрессѣ метеорологовъ: „мнѣ кажется весьма вѣроятнымъ, что внимательное сравненіе фотополяриметрическихъ данныхъ съ другими уже извѣстными данными приведетъ къ заключеніямъ, полезнымъ для столь трудной задачи предвидѣнія погоды на долгій срокъ впередъ" [1]).

Въ 1900 г. въ Парижѣ состоялся первый всемірный конгрессъ физиковъ. Предсѣдателемъ конгресса былъ избранъ Корню, секретаремъ Гильомъ. Трудно представить себѣ то количество организаціонной и редакціонной работы, которое было ис-

---

[1]) Фотополяриметръ Корню изготовляется фирмою Pellin (Paris, 21, rue de l'Odéon). Пелленъ высылаетъ вмѣстѣ съ приборомъ и его описаніе (составленное Корню для конгресса французской ассоціаціи для развитія наукъ въ Ларошели въ 1882 г.). Если имѣть въ виду наблюденія надъ спектральною поляризаціею неба (въ красныхъ и синихъ лучахъ), то при заказѣ слѣдуетъ указать photopolarimètre de M. Cornu avec dispositif de M. Piltschikoff.—Корню особенно придавалъ значеніе вечернимъ наблюденіямъ: „Je me permets d'insister sur l'observation de la proportion de lumière polarisée dans la direction du *zénith* dès un peu avant le coucher du soleil jusqu'à la nuit presque close: la loi d'augmentation avec le temps de cette proportion jusqu' à un maximum (géneralement très élevé) donne des indiquations precieuses sur la répartition de la brume suivant l'altitude; on a là une sorte de caractéristique de l'état de l'atmosphère; combinée avec les autres observations cette donnée me parait devoir jouer un rôle important pour la prévision du temps"—писалъ мнѣ Корню 7-го іюня 1891 г.

полнено Корню и Гильомомъ съ аккуратностью и своевременностью совершенно безпримѣрными. Кому случалось нерѣдко участвовать въ международныхъ конгрессахъ, тотъ навѣрно уже пріученъ въ теченіе мѣсяцевъ и годовъ терпѣливо ждать выхода въ свѣтъ трудовъ конгресса. Не то было у Корню и Гильома: члены конгресса, еще посѣщая свои секціонныя засѣданія, могли любоваться тремя уже отпечатанными томами своихъ трудовъ. Характерныя черты дѣятельности всей жизни Корню—его точность и тщательность сослужили первому всемірному конгресу физиковъ большую службу, и благодарность конгреса своему президенту была и горячею и глубокою.

Мое знакомство съ Корню началось съ 1888 г. Его атлетическая, стройная и строгая фигура, его оригинальный, чрезвычайно точный умъ, его обращеніе, исполненное достоинство и вниманія, невольно привлекали къ нему и въ то же время внушали неподдѣльное уваженіе. Когда потомъ, спустя 12 лѣтъ, я вновь встрѣтился съ Корню, онъ былъ также могучъ, также молодъ, также энергиченъ, какъ и прежде. Дѣятельная регулярная жизнь, обиліе научныхъ средствъ и пособій, уваженіе ученаго міра и любовь безчисленныхъ учениковъ хранили Корню отъ безполезнаго „разсѣянія энергіи", которое такъ часто гибельно и такъ нерѣдко неизбѣжно у насъ, въ нашихъ условіяхъ..

Въ лицѣ Корню сошелъ со сцены крупнѣйшій представитель яснаго оригинальнаго французскаго ума, могучаго настойчиваго характера, безраздѣльно преданный интересамъ знанія. Осиротѣлое кресло Парижской Академіи Наукъ нескоро будетъ занято величиною того же ранга. Русское Физико-Химическое Общество, узнавъ о смерти Корню, не замедлило послать Французскому Физическому Обществу телеграмму съ выраженіемъ глубокаго соболѣзнованія о тяжкой утратѣ. Присоединимся и мы къ его чувствамъ. Миръ праху Корню, духъ же его навсегда останется съ нами. Память о его свѣтломъ умѣ и жизни, отданной наукѣ, будетъ поддержкою для всѣхъ, кто зналъ Корню, кто знаетъ его работы

Харьковъ, 1902.

Химическая теорія электричества

В. Нернста[1]).

Электрическія явленія въ виду своего разнообразія занимали первое мѣсто въ наукѣ 19-го вѣка. Я предполагаю указать здѣсь на ту роль, которую электрическія теоріи играютъ въ области химіи.

Прежде всего обращу вниманіе на господствующее въ современной физикѣ стремленіе оставить теорію двухъ электрическихъ жидкостей и разсматривать электричество, какъ родъ движенія. Такое стремленіе едва-ли можно оправдать. Правда, электромагнитная теорія свѣта дала неопровержимыя доказательства тому, что свѣтъ, который давно сводили къ волнообразному движенію, есть въ сущности электрическое явленіе, что, другими словами, между свѣтовыми и электрическими колебаніями нѣтъ принципіальной разницы; но этого еще недостаточно, чтобы рѣшить вопросъ, есть-ли электричество вѣсомая матерія или родъ движенія. Для поясненія сказаннаго приведу слѣдующій примѣръ. Акустика учитъ, что звуковыя ощущенія обусловливаются колебаніями воздуха; но отсюда еще не слѣдуетъ, что воздухъ есть родъ движенія. Между тѣмъ по отношенію къ электричеству хотятъ сдѣлать именно такое рискованное заключеніе!

Извѣстны соотношенія, существующія между строеніемъ частицы и электрическими свойствами атомовъ, т. е. тѣ связи, которыя существуютъ между химіею и теоріею іоновъ. Въ виду важной роли іоновъ въ химіи, ясно видно то вліяніе, которое можетъ имѣть ученіе объ электричествѣ на электрохимію и даже на химію. Все, касающееся іоновъ, имѣетъ громадное значеніе для химіи; такъ извѣстно, что вода, растворяя тѣла, въ боль-

---

[1]) *W. Nernst*, Ueber die Bedeutung elektrischer Methoden und Theorien für die Chemie. Рѣчь, читанная на 73 Съѣздѣ нѣмецкихъ натуралистовъ въ Гамбургѣ (1901).

шинствѣ случаевъ, раздѣляетъ ихъ на іоны, вѣроятно потому, что вода обладаетъ очень большою діэлектрическою постоянною.

Всякій разъ, когда въ химіи разсматривается электрическое явленіе, его толкованіе можно будетъ свести къ іонамъ; такъ, разсматривая водный растворъ соли, мы опредѣляемъ ея молекулярный вѣсъ по правиламъ Фантъ-Гоффа и Авогадро; Аррениусъ, создавшій современное представленіе объ электролитической диссоціации, показалъ какимъ образомъ можно заключить о количествѣ и свойствахъ іоновъ, на которые распадается соль, въ особенности если имѣть въ виду химическія аналогіи; Гитторфъ показалъ, что химическіе радикалы суть тоже іоны и что химическія свойства соли даютъ вообще понятіе о природѣ этого радикала. Съ другой стороны можно пользоваться чисто электрическими методами; такъ какъ подъ дѣйствіемъ электрическихъ силъ іоны перемѣщаются, а съ другой стороны электрическая разность между металломъ и растворомъ обусловливается природою и количествомъ іоновъ, то измѣренія электропроводности и электродвижущей силы имѣютъ значеніе даже для чисто химическихъ изслѣдованій.

Благодаря работамъ Ф. Кольрауша, проводимость растворовъ измѣряется теперь очень просто и точно. Для этого достаточны маленькій индукторъ, уитстоновъ мостикъ, ящикъ сопротивленій, телефонъ и снабженный электродами стеклянный сосудъ. Здѣсь не мѣсто подробно разсматривать примѣненіе этого метода къ химіи, и потому удовольствуюсь привести одинъ лишь примѣръ.

Давно извѣстно, что въ водныхъ растворахъ различныя кислоты обладаютъ кислотными свойствами въ разной степени; но научное объясненіе этому факту удалось найти лишь въ послѣднее время при помощи теоріи іоновъ и ученія о химическомъ дѣйствіи массъ. Растворенная въ водѣ кислота выдѣляетъ большее или меньшее число іоновъ водорода; поэтому всѣ реакціи кислотнаго характера будутъ реакціями этихъ іоновъ водорода. По закону химическаго дѣйствія массы извѣстнаго сорта частицы (все равно заряженные или нейтральные) реагируютъ тѣмъ энергичнѣе, чѣмъ больше ихъ концентрація; отсюда такое простое заключеніе: данная кислота обладаетъ тѣмъ болѣе сильною кислотною реакціею, чѣмъ больше она содержитъ іоновъ водорода. Такъ какъ измѣреніемъ электропроводности всего проще и точнѣе опредѣляется количество іоновъ водорода растворовъ

ренной въ водѣ кислоты, то ясно, что по измѣренію электропроводности можно заключить и о степени кислотности данной кислоты.

Въ болѣе сложныхъ случаяхъ, въ особенности при изслѣдованіи такъ наз. сложныхъ солей, измѣреніе электропроводности помогаетъ изслѣдованію перемѣщеній іоновъ. Подвергая электролизу данный растворъ и опредѣляя измѣненія его концентраціи близъ электродовъ, можно разрѣшить вопросъ о томъ, перемѣщается-ли элементъ или радикалъ по направленію тока или противъ него; въ первомъ случаѣ онъ находится въ положительномъ, а во второмъ—въ отрицательномъ іонѣ. Уже Гитторфъ, измѣривъ числа переносовъ, показалъ, что этимъ путемъ легко разрѣшить вопросъ, имѣемъ-ли мы дѣло съ типичною или сложною солью.

Проводимость раствора слагается изъ проводимостей всѣхъ заключающихся въ немъ іоновъ; въ случаѣ сложныхъ солей число различныхъ іоновъ значительно, что и усложняетъ результатъ опыта. Однако измѣреніемъ электродвижущей силы можно опредѣлить число іоновъ опредѣленнаго рода; дѣйствительно электрическая разность на поверхности электрода зависитъ лишь отъ концентраціи тѣхъ іоновъ, которые электродъ высылаетъ въ растворъ. Приборы, нужные для подобныхъ измѣреній, суть чувствительный гальванометръ или электрометръ, образцовый элементъ и ящикъ сопротивленій.

Опредѣленіе электрической разности между серебрянною проволокою и окружающимъ растворомъ даетъ намъ количество іоновъ серебра, находящихся въ растворѣ. Мы знаемъ формулу, связывающую электродвижущую силу съ числомъ іоновъ раствора; эта формула позволяетъ опредѣлять концентраціи растворовъ съ точностью, не зависящею отъ количества содержащихся въ растворахъ іоновъ. При помощи этой формулы можно оцѣнить столь слабую концентрацію раствора, которую нельзя опредѣлить никакими другими чувствительными пріемами, даже спектральнымъ анализомъ.

И здѣсь я долженъ ограничиться однимъ примѣромъ. Совершенно чистая вода почти не проводитъ электричества; иными словами лишь очень небольшой процентъ частицъ воды разложенъ на іоны H и HO; первые принадлежатъ къ кислотному типу, вторые къ основному типу; такимъ образомъ вода одновременно есть слабая кислота и слабое основаніе. Во многихъ случаяхъ

требуется знать степень кислотности или степень основности воды, для чего надо опредѣлить очень малое число іоновъ водорода, находящихся въ нейтральномъ или, лучше сказать, въ щелочномъ растворѣ. Оствальдъ и Арреніусъ разрѣшили этотъ вопросъ одновременно и независимо другъ отъ друга; они измѣрили электрическую разность воды и платиноваго электрода, насыщеннаго водородомъ; такъ какъ эта разность зависитъ отъ концентраціи іоновъ водорода въ водѣ, то по величинѣ ея можно было судить и объ этой концентраціи.

Указанные электрическіе методы можно уподобить зондамъ, при помощи которыхъ, такъ сказать, ощупываются химическія соединенія. Съ электричествомъ мы получаемъ въ руки острый ножъ, которымъ можно разрѣзывать химическія соединенія; этотъ „ножъ" есть электролизъ: электрическимъ токомъ самыя устойчивыя соединенія можно раздѣлять на ихъ составныя части.

Механизмъ электролиза очень простъ: электроды заряжаются токомъ, одинъ положительно, другой отрицательно; первый притягиваетъ къ себѣ отрицательные іоны, второй—положительные. При достаточно сильномъ зарядѣ электродовъ, т. е. при достаточной электродвижущей силѣ электролизующаго тока, іоны выдѣляются у обоихъ электродовъ; отдавая послѣднимъ свои заряды, іоны переходятъ въ обыкновенныя (электрически-нейтральныя) частицы, не подверженныя электрическимъ силамъ. Поэтому все явленіе электролиза собственно состоитъ лишь въ превращеніи наэлектризованныхъ іоновъ въ электрически-нейтральныя частицы, и работа тока при электролизѣ расходуется на разрядъ нѣкотораго числа іоновъ и на передачу зарядовъ положительныхъ іоновъ одному электроду, а отрицательныхъ—другому. Эта работа тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше электродвижущая сила, дѣйствующая на электродахъ; такъ какъ послѣднюю можно произвольно увеличивать, то имѣется возможность преодолѣть всякую химическую силу.

Тогда какъ электрическій токъ разлагаетъ тѣла, при обратномъ явленіи, при образованіи тока, химическая энергія превращается въ электрическую. Въ послѣднее время и механизмъ этого явленія разъясненъ теоріею іоновъ. Въ принципѣ раствореніе цинка въ гальваническомъ элементѣ подобно растворенію какого-нибудь вещества въ растворителѣ; единственная особенность, встрѣчающаяся здѣсь, состоитъ лишь въ томъ, что изъ цинка, какъ и вообще изъ металла, выдѣляются не электрически-

нейтральныя частицы, а іоны; вслѣдствіе этого съ раствореніемъ цинка связано электрическое перемѣщеніе, которое при извѣстныхъ условіяхъ можетъ превратиться въ замкнутый электрическій токъ.

Электрическое явленіе неразрывно связано со всякимъ раствореніемъ цинка или другого металла въ кислотѣ: изъ цинка выдѣляются въ кислоту іоны цинка и въ то же время химически, а слѣд. и электрически эквивалентная масса іоновъ водорода переходитъ обратно изъ раствора къ цинку, и, передавъ ему свой зарядъ, является здѣсь электрически-нейтральнымъ водородомъ. Какъ при электролизѣ электрическія разности на электродахъ опредѣляютъ явленіе, такъ и разсматриваемый химическій процессъ опредѣляется исключительно разностью потенціаловъ металла и раствора.

Изъ явленія электролиза мы видѣли, что электрическія силы играютъ важную роль въ химіи; многія химическія дѣйствія начинаются съ перемѣщенія электрическихъ зарядовъ. Въ виду всего этого возникаетъ вопросъ, не электрическаго-ли происхожденія и всѣ химическія силы?

Прежде всего посмотримъ, какъ можно измѣрить химическія силы. Когда два вещества быстро соединяются, благодаря простому соприкосновенію, то говорятъ, что они обладаютъ большимъ взаимнымъ сродствомъ. Но обратно, когда два вещества соединяются медленно, нельзя сказать, чтобы ихъ взаимное сродство было слабо; все зависитъ отъ сопротивленій, которыя встрѣчаетъ реакція. Такъ при обыкновенной температурѣ водородъ и кислородъ могутъ оставаться смѣшанными, не соединяясь, ибо сопротивленіе, которое приходится преодолѣвать, велико. Подобно тому, какъ токъ прямо-пропорціоналенъ электродвижущей силѣ и обратно-пропорціоналенъ сопротивленію, можно сказать, что скорость реакціи прямо-пропорціональна химическому сродству и обратно-пропорціональна химическому сопротивленію. Въ гальваническомъ элементѣ оба эти закона тождественны: сопротивленіе одно и то же, токъ — по закону Фарадея — равенъ скорости реакціи и химическое сродство можетъ измѣряться электродвижущею силою. Но какъ законъ Ома примѣняется и къ тѣмъ случаямъ, въ которыхъ химическіе процессы не участвуютъ, (напр. въ динамомашинахъ, въ термоэлектрическихъ элементахъ), такъ и аналогичный химическій законъ примѣняется къ такимъ реакціямъ (напр. къ горѣнію), которые повидимому не сопровождаются электрическими токами. Во всякомъ случаѣ аналогія между этими двумя за-

конами ведетъ къ сближенію химическаго процесса съ электрическимъ токомъ или скорѣе съ электрическимъ разрядомъ.

Отсюда видно, что опредѣленіе электродвижущей силы даетъ мѣру химическаго сродства. Конечно существуютъ и другіе пріемы оцѣнки послѣдняго, но измѣреніе электродвижущей силы представляетъ самый точный способъ; слѣд. электрическій методъ всего пригоднѣе для опредѣленія химической величины первостепенной важности.

Одно время думали, что нечего заботиться о природѣ химическихъ силъ, разъ извѣстна работа, которую онѣ могутъ совершить. Мнѣ не нравится такой взглядъ на дѣло. Если я вижу на полномъ ходу машину, которая меня живо интересуетъ, я не успокоюсь, пока не опредѣлю числа ея лошадиныхъ силъ, пока не узнаю, паровая-ли это машина, динамо или какая-нибудь иная. Также и въ химіи. Научное изслѣдованіе должно проникать въ способъ дѣйствія и въ природу каждой силы, какъ бы гадательна ни была почва, на которую при этомъ приходится вступать и какъ бы ни былъ далекъ удовлетворительный отвѣтъ.

Какъ попытка такого рода объясненія была предложена дуалистическая теорія, созданная въ неорганической химіи. Элементы или радикалы раздѣлены были на двѣ категоріи: электроположительные или электроотрицательные; радикалы реагируютъ съ тѣмъ большею силою, чѣмъ одинъ изъ нихъ болѣе электроположителенъ, а другой—болѣе электроотрицателенъ. Это составило основаніе электрохимической теоріи Берцеліуса. То положеніе этой теоріи, что одни элементы заряжены положительно, а другіе отрицательно, не представляетъ важности; это лишь переводъ химическихъ фактовъ на языкъ физическихъ терминовъ; важно, что въ сравненіи съ явленіями обоихъ электричествъ Берцеліусъ искалъ объясненія дуализма, столь часто наблюдаемаго при химическихъ соединеніяхъ.

Затѣмъ возникла органическая химія съ ея безчисленными соединеніями, которыя не укладываются въ рамки дуалистической теоріи. Тогда была создана унитарная теорія строенія органическихъ тѣлъ, т. е. теорія валентности, которая не занимается никакимъ дуализмомъ.

Въ настоящее время ни одна изъ этихъ теорій въ отдѣльности не удовлетворительна; мы должны принять, что при химическихъ соединеніяхъ дѣйствуютъ, какъ силы постояннаго направленія, подобныя ньютоновскому притяженію, такъ и поляр-

ныя силы, примѣромъ которыхъ могутъ служить электрическія силы.

Подмѣченный Берцеліусомъ дуализмъ объясняется теоріею іоновъ слѣдующимъ образомъ. Тѣ элементы или радикалы, которые выдѣляются, какъ положительные іоны, образуютъ одну категорію, тѣ же, которые выдѣляются, какъ отрицательные іоны, образуютъ другую категорію элементовъ и радикаловъ. Но свободные элементы или радикалы не заряжены, какъ это предполагалъ Берцеліусъ; частица, составленная изъ положительнаго и отрицательнаго радикаловъ, при извѣстныхъ условіяхъ можетъ раздѣлиться на двѣ части, изъ коихъ одна заряжена положительно, а другая отрицательно. Это электрическое расщепленіе всего яснѣе проявляется въ электролитической проводимости и связанной съ нею способности тока раздѣлять соединеніе на свободные радикалы; оно проявляется, какъ это доказалъ Гитторфъ, обмѣномъ одного положительнаго радикала на другой положительный, или одного отрицательнаго на другой отрицательный, т. е. двойнымъ разложеніемъ; Гитторфъ выразилъ это положеніе словами: *электролиты суть соли.*

За мѣру положительности или отрицательности элементовъ Берцеліусъ принималъ величины ихъ электрическихъ зарядовъ. Но со времени Фарадея извѣстно, что электрическій зарядъ, одновалентнаго іона не зависитъ отъ его природы, а слѣд. и отъ сродства этого радикала; іонъ фтора имѣетъ такой же зарядъ, какъ іонъ іода. Степень положительности или отрицательности элемента слѣдуетъ опредѣлять не величиною зарядовъ ихъ іоновъ, а силою, которая связываетъ этотъ зарядъ съ частицею. Такъ достаточно незначительной электродвижущей силы для разложенія іодистаго серебра и требуется очень большая сила для разложенія фтористаго калія.

Экспериментальная формулировка того факта, что всѣ радикалы имѣютъ равные электрическіе заряды, составляютъ законъ Фарадея: „изъ различныхъ электролитовъ равныя количества электричествъ выдѣляютъ эквивалентныя количества веществъ". Все, что намъ извѣстно, подтверждаетъ справедливость этого закона; поэтому можно считать вполнѣ установленнымъ, что различнѣйшіе одновалентные іоны несутъ съ собою равныя количества электричествъ.

Что касается многовалентныхъ іоновъ, то оказывается, что двувалентные обладаютъ двойнымъ зарядомъ, трехвалентные—

тройнымъ и т. д. сравнительно съ зарядомъ одновалентнаго іона. Это замѣчательное обстоятельство очень просто объяснено Гельмгольцомъ въ его фарадеевской рѣчи (1881 г.). Если принять матеріальность электричества (что́ мы всегда въ правѣ сдѣлать, какъ это неоднократно повторялъ Гельмгольцъ), то іоны слѣдуетъ считать за химическія соединенія элементовъ или радикаловъ съ электричествомъ. Если далѣе, какъ мы уже видѣли, различные элементы или основанія всегда соединяются съ опредѣленнымъ количествомъ электричества или съ количествомъ въ два, три и т. д. раза бо́льшимъ, то всего проще это обстоятельство выразить такъ: при соединеніи обыкновенной матеріи съ электричествомъ имѣютъ мѣсто тѣ же самые основные законы, какъ и для обыкновенныхъ химическихъ веществъ, а именно *законъ постоянныхъ и кратныхъ отношеній.*

Припомнимъ, что сто лѣтъ тому назадъ открытіе упомянутыхъ химическихъ законовъ дало поводъ ввести атомную теорію въ естественныя науки и что до сихъ поръ эти законы остаются фундаментомъ для молекулярной теоріи; безъ атомистическаго воззрѣнія мы не могли бы понять смыслъ этихъ законовъ, тогда какъ съ точки зрѣнія атомистики эти законы сами собою дѣлаются понятными. Совершенно въ такомъ же положеніи мы находимся и относительно основныхъ законовъ электрохиміи; если принять, что электричество непрерывно, то совершенно непонятно почему различнѣйшіе элементы и радикалы даютъ всегда вполнѣ опредѣленное количество электричества или въ два, три и т. д. раза большее; если же примемъ, что *электричество состоитъ изъ отдѣльныхъ неизмѣнной величины атомовъ*, то наши законы будутъ необходимыми слѣдствіями этого допущенія.

Такимъ образомъ мы приходимъ къ *химической теоріи электричества*, на которую въ заключеніе мы и бросимъ бѣглый взглядъ. Кромѣ извѣстныхъ уже химическихъ элементовъ, надо принять еще два новыхъ, образуемыхъ *положительными* и *отрицательными электронами*, какъ теперь называютъ электрическіе атомы; эти новые элементы одновалентны, такъ что частица одновалентнаго элемента насыщается однимъ электрономъ, двувалентнаго—двумя электронами и т. д. Атомнымъ вѣсомъ электроновъ можно пренебречь; изслѣдованія, сдѣланныя въ совершенно иной области и касающіяся катодныхъ лучей[1]), приводятъ къ заключенію, что

---

[1]) См. статью Кауфмана, *Физическое Обозрѣніе* 3 т. (1902) стр. 42.

атомный вѣсъ отрицательнаго электрона въ 2000 разъ меньше атомнаго вѣса водорода. Впрочемъ вопросъ еще не рѣшенъ, имѣютъ-ли электроны дѣйствительную массу или только кажущуюся. Во всякомъ случаѣ эта величина ничтожна сравнительно съ ошибками, которыя мы дѣлаемъ даже въ самыхъ точныхъ анализахъ. Что же касается положительныхъ электроновъ, то возможно, что ихъ атомный вѣсъ, равенъ атомному вѣсу частицъ; опыты съ катодными лучами не даютъ на это отвѣта. Особенность, отличающая эти оба элемента отъ всѣхъ другихъ заключается въ силахъ ихъ взаимодѣйствія, совершенно иныхъ, чѣмъ ньютоновское притяженіе. Явленія, обусловливаемыя этими силами, составляютъ физическое ученіе объ электричествѣ, которое—со временъ Кулона и Ампера—занимается изысканіемъ законовъ, управляющихъ этими силами. Въ первой половинѣ моего доклада я говорилъ объ электролитической проводимости, электролитическомъ разложеніи, о происхожденіи электрическаго тока, и при этомъ мы видѣли, что эти явленія очень просто объясняются основными законами электричества.

Если бы кто спросилъ, почему эти два элемента, обладающихъ полярными свойствами, занимаютъ особое положеніе по сравненію со всѣми остальными, то мы конечно не сумѣли бы отвѣтить. Но это все равно, какъ если бы спросили: почему хлоръ представляется хлоромъ или почему натрій имѣетъ свойства натрія? Пока мы еще не въ состояніи выводить свойства тѣлъ, и потому должны ихъ принимать такими, какими они намъ представляются. Впрочемъ взаимное отношеніе положительнаго и отрицательнаго электроновъ отчасти напоминаетъ отношеніе между двумя оптическими изомерами.

Какъ уже было замѣчено іоны слѣдуетъ разсматривать, какъ насыщенныя соединенія обыкновенныхъ атомовъ или радикаловъ съ электронами. Возьмемъ напр. хлористый натрій; если здѣсь атомъ натрія замѣнимъ отрицательнымъ электрономъ, то получимъ іонъ хлора, заряженный отрицательно; замѣнивъ атомъ хлора положительнымъ электрономъ, получимъ іонъ натрія, заряженный положительно. Такимъ образомъ явленія, въ которыхъ принимаютъ участіе іоны, можно разсматривать по схемѣ теоріи замѣщеній, если только будемъ имѣть въ виду атомистическое представленіе объ электричествѣ. Въ то же время видна вся физическая разница между хлоромъ и іономъ хлора, между натріемъ и іономъ натрія; подобно тому, какъ свойства свободнаго хлора и сво-

боднаго натрія совершенно иныя, чѣмъ свойства ихъ химическаго соединенія, напр. хлористаго натрія, такъ измѣняются свойства этихъ элементовъ при ихъ соединеніи съ электрическими атомами, т. е. съ ихъ переходомъ въ состояніе іоновъ. Что іоны обладаютъ свойствами насыщенныхъ соединеній, въ этомъ можно убѣдиться слѣдующимъ образомъ. Существуютъ молекулярныя соединенія; такъ хлорная платина соединяется съ шестью частицами амміака; но амміакъ, будучи въ соединеніяхъ, замѣстимъ іонами, какъ это доказалъ Вернеръ; слѣд. по своей способности входить въ молекулярныя соединенія, іоны становятся въ рядъ съ обыкновенными соединеніями

Теперь возникаетъ вопросъ, нельзя-ли въ хлористомъ натріѣ одновременно замѣстить атомъ натрія и атомъ хлора положительнымъ и отрицательнымъ электронами? Результатомъ такого замѣщенія было бы соединеніе одного положительнаго и одного отрицательнаго электрона, тогда бы мы имѣли частицу электрически нейтральную и невѣсомую или почти невѣсомую. Мы ничего еще не знаемъ о такой частицѣ и о той роли, которую она можетъ играть въ химическихъ и электрохимическихъ процессахъ. Если бы подобныя соединенія существовали и если бы удалось ихъ изолировать, то открылся бы новый міръ явленій. Возможно, что подобнаго рода частицы принимаютъ участіе въ явленіяхъ, представляемыхъ эѳиромъ, этою таинственною средою.

На основаніи этихъ представленій мы легко можемъ объяснить отношеніе дуалистической гипотезы къ унитарной. Различные элементы (или радикалы) обладаютъ различными химическими силами сродства съ положительнымъ и отрицательнымъ электронами; одни элементы обладаютъ сродствомъ съ положительными электронами и образуютъ положительную группу, другіе элементы стремятся соединиться съ отрицательными электронами и образуютъ отрицательную группу. Но кромѣ того, различные элементы обладаютъ химическимъ сродствомъ и между собою—сродствомъ, не носящемъ полярнаго характера. Такъ безъ вмѣшательства электроновъ два атома одного элемента могутъ образовать устойчивое соединеніе; вспомнимъ какъ крѣпко соединяются въ частицу два атома водорода или два атома азота; то же самое замѣчается въ соединеніяхъ металлоидовъ между собою, какъ въ хлористомъ іодѣ, сѣрнистомъ фосфорѣ и т. д.; наконецъ и металлы представляютъ рядъ соединеній, при образованіи которыхъ электроны не принимаютъ никакого участія. Угле-

родъ, представляющій демаркаціонную линію между положительными и отрицательными элементами, можемъ соединяться съ элементами обѣихъ группъ; и такъ какъ здѣсь электроны опять не принимаютъ никакого участія, то вполнѣ понятно почему унитарная гипотеза удовлетворительно объясняетъ строенія углеродныхъ соединеній.

Но какъ только реагируютъ между собою положительный и отрицательный элементы, такъ является возможность расщепленія на іоны, т. е. во время такой реакціи извѣстное число электрически-нейтральныхъ частицъ, о которыхъ мы говорили, образуется или разлагается. Замѣчательно, что реакціи, въ которыхъ электроны принимаютъ участіе, сопровождаются особенно значительными измѣненіями. Тогда какъ соединеніе двухъ металловъ имѣетъ видъ металла, а соединеніе двухъ металлоидовъ напоминаетъ составныя части, получается нѣчто совершенно новое и своеобразное, когда металлъ реагируетъ на металлоидъ; такъ напр. хлористый натрій нисколько не походитъ на свои составныя части; къ тому же при образованіи такихъ соединеній дѣйствуютъ особенно большія химическія силы.

Конечно, не исключается возможность участія электрическихъ силъ и въ неполярныхъ трансформаціяхъ; и можно надѣяться свести ихъ къ электрическимъ явленіямъ, какъ это уже сдѣлано съ оптикою. Но это дѣло будущаго, пока же слѣдуетъ тщательно различать силы полярнаго и унитарнаго характеровъ.

Изъ всего сказаннаго, вытекаетъ возможность, что одинъ элементъ или радикалъ соединяется съ однимъ электрономъ, тогда какъ другой освобожденный электронъ не соединится съ другимъ элементомъ. Если бы это случилось, то свободные электроны пришли въ движеніе и производили бы извѣстное давленіе, обусловливаемое живою силою, съ которою они выбрасываются. Можетъ быть беккерелевскіе лучи обязаны своимъ происхожденіемъ такого рода химическому процессу. Такъ какъ и здѣсь наблюдалось появленіе лишь отрицательныхъ электроновъ, то это служитъ новымъ доказательствомъ тому, что положительные электроны труднѣе изолируются, т. е. крѣпче соединены съ металлами, чѣмъ отрицательные электроны соединены съ металлоидами.

Имѣя въ виду ознакомиться съ примѣненіемъ электрическихъ методовъ къ химическимъ изслѣдованіямъ, мы невольно коснулись вопроса о природѣ химическихъ силъ и о сущности

электричества. Что касается послѣдняго, то мы обладаемъ данными опыта и вытекающими изъ нихъ методами измѣреній. Пока это будетъ только средствомъ изслѣдованія мы не перестанемъ разлагать химическаго соединенія электрическимъ токомъ и измѣрять проводимость растворовъ. Физическія и химическія теоріи создаются и оставляются; но и въ послѣднемъ случаѣ онѣ не такъ безслѣдно исчезаютъ, какъ это иногда думаютъ. Слова римскаго поэта

Nec perit in toto quicquam, mihi credite, mundo,
Sed variat faciemque novat[1])

въ которыхъ можно усмотрѣть первую догадку о современномъ законѣ сохраненія матеріи, служатъ въ защиту тѣмъ гипотезамъ и теоріямъ, при помощи которыхъ цѣлый рядъ явленій внѣшняго міра приводится въ строгую логическую связь; повидимому и сила такихъ теорій неотразима. Мнѣ сдается, что на время забытая матеріальная теорія электричества не вполнѣ исчезнетъ, но выступитъ вновь, хотя въ измѣненномъ видѣ и обновленной формѣ. Конечно гельмгольцевское понятіе объ атомистическомъ строеніи электричества не представляетъ чего-нибудь уже законченнаго; тѣмъ не менѣе я попытался изложить передъ вами эту теорію, которую я назвалъ химическою теоріею электричества, вывести изъ нея слѣдствія и развить въ нѣкоторыхъ пунктахъ; ибо въ этой теоріи по моему мнѣнію заключается то, что составляетъ насущный хлѣбъ для подростающаго поколѣнія натуралистовъ—новыя задачи и новыя побужденія къ дальнѣйшей работѣ.

Классные опыты

А. А. Эйхенвальда.

Помѣщаю ниже описаніе нѣкоторыхъ простыхъ физическихъ опытовъ, которые, какъ мнѣ кажется, легко могутъ быть произведены и въ среднемъ учебномъ заведеніи.

---

[1]) Стихи Овидія: въ мірѣ ничего не пропадаетъ, происходятъ лишь измѣненія и принимаются новые облики.

Всѣ приборы необходимые для этихъ опытовъ крайне просты и могутъ быть пріобрѣтены или заказаны при незначительныхъ издержкахъ. Правда, что точность результатовъ, получаемыхъ при этомъ, сравнительно небольшая, зато выигрывается въ наглядности, а это обстоятельство для усвоенія законовъ природы или метода изслѣдованія всегда должно стоять на первомъ планѣ.

I. Законъ Архимеда.

Для опыта необходимо слѣдующее:

a) Вѣсы Роберваля до 2 kgr. (цѣна 3 р. 50 к.). Для того, чтобы показанія вѣсовъ видны были во всей аудиторіи, полезно придѣлать къ нимъ легкую стрѣлку длиною въ 25 cm., а къ станинѣ прикрѣпить шкалу съ крупными дѣленіями. Такое приспособленіе дозволяетъ, при наименьшей гирькѣ (въ 1 gr.), опредѣлять истинный вѣсъ съ точностью 1/5 грамма. (Если, напр. при q граммахъ стрѣлка показывала 3 дѣленія, а при q+1 граммахъ— 8 дѣленій, тогда какъ равновѣсіе на 5-мъ дѣленіи, то можно истинный вѣсъ считать равнымъ q+2/5 грамма). Кромѣ этого приспособленія желательно чашки вѣсовъ Роберваля замѣнить плоскими цинковыми квадратами, которые гораздо удобнѣе чашекъ. Для этого берутъ листовой цинкъ миллиметра два толщиною и привинчиваютъ его къ вертикальнымъ стержнямъ, на которыхъ лежали чашки.

b) Разновѣски отъ 500 до 10 gr., обыкновенные, но для того, чтобы всѣмъ было *видно*, что́ именно кладется на чашку (заявленія лектора я считаю недостаточнымъ), можно въ головкѣ каждой гирьки сдѣлать надрѣзъ и вставить картонъ съ нумеромъ. Разновѣски, начиная съ 5 gr. и до 1 gr. удобно сдѣлать изъ листового алюминія, согнувъ его угломъ и снабдивъ соотвѣтственною цифрою.

c) Мензурка до 200 c. cm., шириною 5 cm., высотою 20 cm. Для ясности, можно отмѣтить широкими чертами дѣленія 50, 100 и 150.

d) Крючокъ на цинковой подставкѣ, согнутый изъ латунной проволоки такъ, чтобы онъ по горизонтальному направленію хваталъ съ одной чашки на другую. Подставка должна быть такой ширины и такого вѣса, чтобы палочка сургуча, повѣшенная на крючокъ, не опрокидывала его.

e) Палочка красныго сургуча (сѣченіемъ 2×2·5 cm. длиною

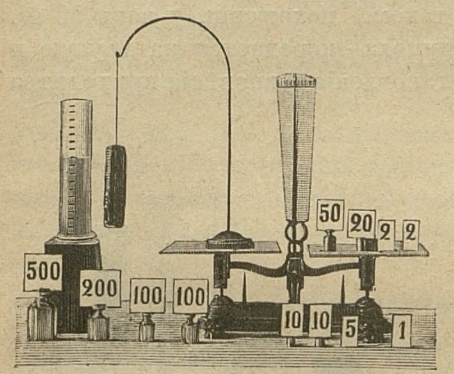
11 cm.); посредствомъ вдѣланной въ нее тонкой проволочки съ петлею на верху можетъ быть повѣшана на крючокъ.

f) Деревянная подставка, высота которой равна высотѣ чашекъ вѣсовъ Робервcovered.

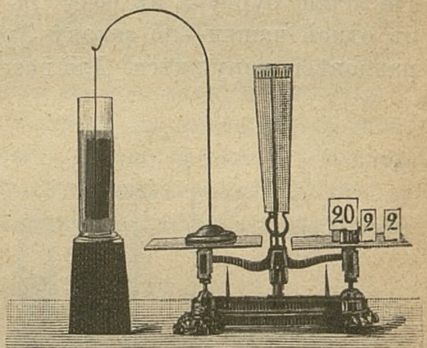
g) Два куска свинца, одинъ равный вѣсу крючка съ цинковою подставкою, другой равный вѣсу мензурки съ водою.

Опыты производятся въ слѣдующемъ порядкѣ:

1-ый опытъ. Ставятъ крючокъ на вѣсы и тарируютъ. Подвѣшиваютъ сургучъ и кладутъ разновѣски до равновѣсія (74 gr.). Мензурку ставятъ рядомъ на деревянную подставку и наливаютъ 140 c. cm. воды (фиг. 1). Затѣмъ, опустивъ сургучъ въ воду, снова уравновѣшиваютъ вѣсы гирьками. Гирьки показываютъ теперь 24 gr., т. е. на 50 gr. меньше, а вода въ мензуркѣ поднялась на 50 c. cm. выше (фиг. 2). Этимъ и доказывается законъ Архимеда, такъ какъ тѣло потеряло въ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсненная вода.



фиг. 1.

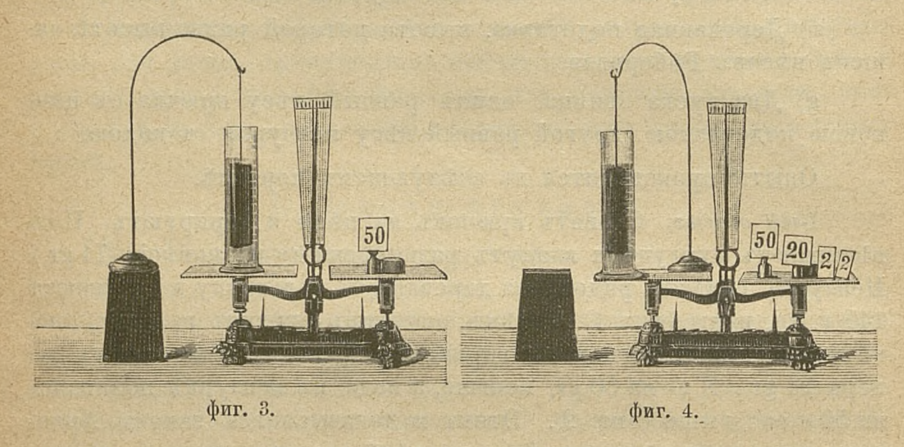


фиг. 2.

2-ой опытъ. На самомъ же дѣлѣ часть вѣса тѣла не теряется, а передается мензуркѣ. Для доказательства этого мѣняютъ мѣста мензурки и крючка и повторяютъ опытъ (фиг. 3). Оказывается теперь, что при погруженіи сургуча въ воду, мензурка, стоящая на вѣсахъ, дѣлается на 50 gr. тяжеле.

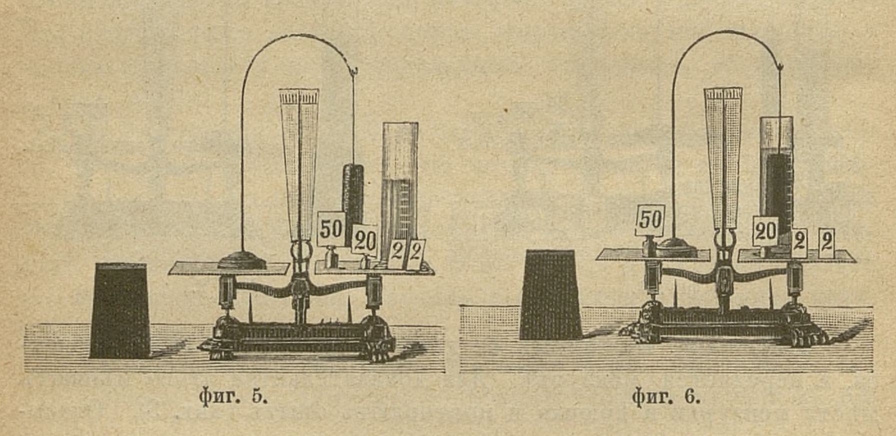
3-ій опытъ. Если повторить опытъ, когда мензурка и крючокъ стоятъ на одной и той же чашкѣ вѣсовъ (фиг. 4), то равновѣсіе не нарушается, только давленіе отъ подставки крючка на чашку уменьшается, а давленіе отъ мензурки—увеличивает-

ся; для вѣсовъ Роберваля, однако, безразлично, какъ распредѣлены давленія на каждой чашкѣ.



фиг. 3. фиг. 4.

4-ый опытъ. Ставимъ крючокъ съ сургучомъ на одну чашку, а мензурку на другую и уравновѣшиваемъ (фиг. 5). При погруженіи сургуча въ воду въ такомъ положеніи, у насъ 50 gr. съ одной чашки—по закону Архимеда—передается на другую и равновѣсіе нарушится. Для возстановленія равновѣсія приходится



фиг. 5. фиг. 6.

со второй чашки (гдѣ мензурка) на первую переложить 50 gr. или прибавить къ первой чашкѣ 100 gr. (фиг. 6).

Примѣчаніе. Послѣдній опытъ можно показать *только тогда*, когда первые три опыта и самый принципъ вполнѣ усвоены; можно его задать и въ видѣ задачи.

Изъ этихъ опытовъ прямо вытекаетъ опредѣленіе удѣльна-

го вѣса тѣлъ, и на вѣсахъ Роберваля можно довольно точно опредѣлять удѣльный вѣсъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ. Такъ изъ описаннаго опыта слѣдуетъ, что объемъ сургуча = 50 c. cm., а его удѣльный вѣсъ = 1·5.

II. Электропроводность растворовъ.

Чтобы показать, какъ сильно увеличивается электропроводность воды отъ малѣйшихъ примѣсей, необходимы слѣдующіе приборы:

a) Плоскій сосудъ, подобный тѣмъ, какіе обыкновенно употребляются для аккумуляторовъ или для мѣдныхъ вольтаметровъ. Въ сосудѣ налита чистая вода и опущены два электрода площадью около 1 q. dm. при разстояніи между ними около 5 cm.

b) Склянка съ сѣрною кислотою и стеклянная палочка.

Опытъ. Соединяютъ послѣдовательно гальваническій элементъ (напримѣръ элементъ Даніэля), ключъ, гальванометръ (лучше всего гальванометръ Гартмана и Брауна, Schul-Galvanometer № 587, цѣна 90 Mk.) и вышеописанный сосудъ съ электродами.

При замыканіи ключа, гальванометръ почти не отклоняется, такъ какъ сопротивленіе чистой воды громадно. Но стоитъ только взять каплю сѣрной кислоты на стеклянную палочку и помѣшать палочкою въ водѣ, какъ тотчасъ же наблюдается сильное отклоненіе гальванометра (ключъ нужно выключить вскорѣ послѣ отклоненія, чтобы не испортить гальванометра). Капля сѣрной кислоты увеличиваетъ проводимость воды въ нѣсколько сотъ разъ.

III. Соединеніе элементовъ.

При рѣшеніи вопроса о томъ, какъ соединять элементы между собою—параллельно или послѣдовательно, необходимо прежде всего знать ихъ внутреннее сопротивленіе и сопротивленіе цѣпи. Для того, чтобы показать вліяніе этихъ сопротивленій на опытѣ необходимы слѣдующіе приборы:

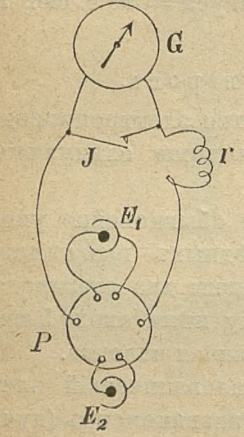
a) Лекціонный гальванометръ (лучше всего указанный выше отъ Гартмана и Брауна), снабженный подходящимъ отводомъ (шунтомъ), который можно легко включать и выключать.

b) Три одинаковыхъ элемента Даніэля. Въ особенности важно, чтобы пористые сосуды были одной фабрики, иначе сопротивленія элементовъ не будутъ одинаковы.

c) Переключатель или качалка.

d) Сопротивленіе въ 100 омовъ и провода.

На фиг. 7 показано соединеніе приборовъ: G—гальванометръ, J—отводъ (шунтъ), r—сопротивленіе въ 100 омовъ, P—коммутаторъ, E_1 и E_2—элементы.



фиг. 7.

1-ый опытъ. Одинъ элементъ Даніэля E_1 наполняютъ жидкостями до верху, другой элементъ лишь на 1/5 высоты. Электродвижущая сила ихъ одинакова, но сопротивленіе перваго около одного ома, второго около 5 омовъ (первый элементъ представляетъ собою параллельное соединеніе 5 элементовъ второго типа). Замыкая E_1 или E_2 посредствомъ переключателя коротко на шунтированный гальванометръ, получаемъ отъ полнаго элемента E_1 токъ *большій*, чѣмъ отъ неполнаго элемента E_2.

Продѣлавъ тотъ же опытъ, но включивъ сопротивленіе 100 омовъ, получаемъ *одинакія* отклоненія гальванометра для обоихъ элементовъ. (Въ послѣднемъ случаѣ необходимо шунтъ выключить, иначе отклоненія слишкомъ малы).

Итакъ при маломъ внѣшнемъ сопротивленіи и большомъ внутреннемъ, полезно соединять элементы параллельно.

2-ой опытъ. Ставятъ въ E_1 элементъ Даніэля, въ которомъ налито жидкости только до 1/5 нормальной высоты; въ E_2 ставятъ два такихъ элемента, соединенныхъ послѣдовательно.

Замыкая коротко на шунтированный гальванометръ, получаемъ отъ одного элемента почти такой же токъ, какъ и отъ двухъ.

Замыкая на 100 омовъ (безъ шунта), получаемъ отъ двухъ элементовъ токъ сильнѣе, чѣмъ отъ одного.

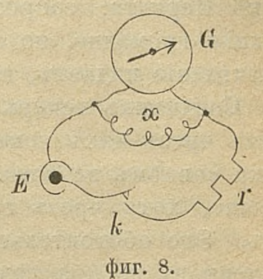
Итакъ при большомъ внѣшнемъ сопротивленіи полезно соединять элементы послѣдовательно.

Примѣчаніе. Если элементы сами имѣютъ ничтожное сопротивленіе, какъ напримѣръ аккумуляторы, то ихъ почти никогда не приходится соединять параллельно, а всегда послѣдовательно.

IV. Измѣненіе сопротивленія отъ температуры.

Свернутую спиралью желѣзную проволоку x (фиг. 8) діаметромъ около 1/3 миллиметра и сопротивленіемъ около 2 омовъ

помѣстимъ параллельно съ гальванометромъ (Гартмана и Брауна). Замкнувъ ключъ k въ цѣпи съ элементомъ E и балластнымъ сопротивленіемъ r, получаемъ небольшое отклоненіе гальванометра. Если теперь нагрѣвать желѣзную проволоку горѣлкою, то отклоненія гальванометра увеличиваются; при охлажденіи спирали—отклоненіе уменьшается.



фиг. 8.

При описанномъ расположеніи, т. е. при включеніи сопротивленія x параллельно гальванометру, измѣненія въ показаніяхъ послѣдняго при измѣненіи сопротивленія x гораздо значительнѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда сопротивленіе x включено въ цѣпь послѣдовательно. Если r и G велики въ сравненіи съ x, то показанія гальванометра можно считать пропорціональными сопротивленію x.

Можно произвести тотъ же опытъ, поставивъ сопротивленіе x на мѣсто r, а на мѣсто x вставить шунтъ, подобранный такимъ образомъ, чтобы при холодной желѣзной проволокѣ отклоненія гальванометра были большія; тогда при горячей проволокѣ они будутъ меньше. Однако здѣсь для пропорціональности отклоненій гальванометра и сопротивленія x необходимо, чтобы сопротивленія гальванометра съ шунтомъ и элемента были ничтожны въ сравненіи съ x, а это трудно достижимо.

V. Опыты съ калильными лампочками.

Возьмемъ двѣ калильныя лампочки, одну большую въ 32 свѣчи, другую малую въ 8 свѣчей. Пустивъ чрезъ нихъ токъ, смѣримъ силу тока амперметромъ и напряженіе вольтметромъ; тогда можемъ вычислить сопротивленіе лампочки во время горѣнія и потребляемую ею энергію и составить слѣдующую табличку:

свѣчи	вольтъ	амперъ	омъ	уаттъ	уатт./свч.
8	110	0·27	400	30	3·75
32	110	1·00	110	110	3·44

Если же мы смѣримъ сопротивленіе лампочекъ въ холодномъ состояніи подстановкою или мостикомъ Уитстона, то получимъ для 8-свѣчной 700 омовъ, а для 32-свѣчной 200 омовъ.

Слѣдовательно сопротивленіе уголька съ повышеніемъ температуры уменьшается. Еще нагляднѣе это можно показать на лампочкѣ Нернста; сопротивленіе этой лампочки въ холодномъ состояніи громадно, но стоитъ только нагрѣть ее спичкою и сопротивленіе падаетъ, такъ что лампочка накаливается.

Соединивъ теперь обѣ наши лампочки послѣдовательно, пустимъ чрезъ нихъ токъ; тогда мы замѣтимъ, что 32-свѣчная лампочка совсѣмъ не накаливается, тогда какъ 8-свѣчная свѣтитъ хорошо, хотя чрезъ ту и другую проходитъ одинъ и тотъ же токъ. Это обстоятельство почти всегда вызываетъ недоумѣніе студентовъ на практическихъ занятіяхъ. Однако это недоумѣніе легко разсѣить подсчитавъ энергію выдѣляемую лампочками при ихъ параллельномъ или послѣдовательномъ включеніи въ цѣпь. Такъ какъ въ цѣпи (съ токомъ J, сопротивленіемъ W и электродвижущею силою E) въ теченіе одной секунды выдѣляется энергія $W = EJ = E^2/J = J^2R$, то при послѣдовательномъ соединеніи лампочекъ, т. е. при одинаковой въ нихъ силѣ тока J, будетъ выдѣляться больше энергіи тамъ, гдѣ сопротивленіе R больше; наоборотъ, при параллельномъ соединеніи, т. е. при одинаковой для всѣхъ лампочекъ разности потенціаловъ, выдѣляющаяся энергія обратно-пропорціональна сопротивленію.

Съ лампочками очень удобно показывать законъ Ома, законы развѣтвленія тока и т. п., въ особенности, если имѣются два гальванометра Гартмана и Брауна.

Москва, 1902 г.

Маятникъ Фуко

П. А. Зилова[1]).

Наука о небесныхъ явленіяхъ началась съ того дня, когда Коперникъ—этотъ „motor terrae et stator solis coelique“, какъ значится на его торнскомъ монументѣ—установилъ, что солнце и звѣзды неподвижны, а земля и планеты обращаются около солн-

[1]) Составлено отчасти по статьѣ Фуко: Demonstration experimentale du mouvent de rotation de la terre (1851) par *L. Foucault*.

ца и вращаются около своихъ осей. Наблюдая *видимое* движенiе солнца и неподвижныхъ звѣздъ, мы обнаруживаемъ слѣдовательно вращенiе земли. Теперь мы вполнѣ сроднились съ этимъ принципомъ; но было время, когда онъ съ трудомъ пробивалъ себѣ путь къ признанiю; идя въ разрѣзъ съ установившимися представленiями перипатетиковъ, онъ вызывалъ многочисленныя возраженiя; и потому естественно, что люди, отстаивавшiе принципъ Коперника, старались помимо астрономическихъ найти ему еще физическiя доказательства, т. е. доказательства, вытекающiя изъ какихъ-нибудь происходящихъ на самой землѣ явленiй.

Не останавливаясь на прежнихъ мало успѣшныхъ попыткахъ въ этомъ направленiи (напр. на попыткахъ замѣтить отклоненiе на востокъ падающаго тѣла), опишемъ только знаменитый опытъ Фуко, сдѣланный въ серединѣ истекшаго столѣтiя.

Въ открытомъ морѣ, когда берега скроются изъ вида, морякъ орiентируется днемъ по солнцу, а въ безоблачную ночь— по звѣздамъ. Но въ темную непроглядную ночь, среди бушующей стихiи, когда волны бросаютъ корабль изъ стороны въ сторону, не долженъ-ли морякъ потеряться и бросить руль? Нѣтъ! Въ такiя минуты испытанiя спасенiемъ для моряка является драгоцѣнный компасъ: смотря на него, морякъ слѣдитъ за малѣйшими движенiями корабля, и если магнитная стрѣлка, которая никогда не перестаетъ располагаться съ сѣвера на югъ, повидимому вертится въ одну сторону, морякъ знаетъ, что его корабль поворачиваетъ въ другую сторону.

Нельзя-ли найти такой „компасъ", глядя на который, мы могли бы слѣдить за вращенiемъ нашей планеты, вмѣстѣ съ которою движемся сами? Французскiй ученый Фуко нашелъ этотъ компасъ въ *маятникѣ*; онъ доказалъ, что плоскость качанiй свободнаго маятника не измѣняетъ своего направленiя въ пространствѣ; если же намъ покажется, что эта плоскость вращается въ опредѣленномъ направленiи, то мы должны будемъ заключить, что въ дѣйствительности земля вращается въ противоположномъ направленiи.

Представимъ себѣ невѣсомую и нерастяжимую нить, верхнiй конецъ которой укрѣпленъ неподвижно, а къ нижнему прикрѣплена тяжелая точка; это и будетъ то, что́ называется *простымъ маятникомъ*; если такой маятникъ вывести изъ его положенiя равновѣсiя (вертикальнаго направленiя), то онъ начнетъ качаться, совершая изохронныя колебанiя; въ этомъ заключается

знаменитое открытіе Галилея, сдѣланное имъ на основаніи наблюденій движеній люстры въ Пизанскомъ соборѣ.

Благодаря своему свойству изохронности, маятникъ нашелъ важное примѣненіе въ часахъ; но при этомъ маятникъ потерялъ свою простоту: его стали дѣлать изъ твердаго стержня и подвѣшивать при помощи ножа, опирающагося на неподвижную подставку; вслѣдствіе этого часовой маятникъ качается не свободно около *точки* подвѣса, но, имѣя *неподвижную* ось (остріе ножа), принужденъ качаться въ одной опредѣленной плоскости, неизмѣнно направленной относительно остальныхъ частей прибора.

Между тѣмъ простой маятникъ, качающійся свободно около одной точки привѣса, обладаетъ очень важнымъ свойствомъ— *сохранять плоскость своихъ качаній.*

Нетрудно обнаружить это свойство свободнаго маятника. П-образный штативъ поставленъ на столъ, доска котораго удобоподвижна около вертикальной оси; къ горизонтальной перекладинѣ штатива подвѣсимъ маятникъ, состоящій изъ нити съ металлическимъ шаромъ на нижнемъ концѣ; на столъ положимъ еще бумажный кругъ, съ отмѣченными нѣсколькими діаметрами. Сначала помѣстимъ штативъ на середину стола такъ, чтобы точка подвѣса маятника находилась на продолженіи оси, около которой можетъ повертываться столъ, и надъ центромъ раздѣленнаго круга. Отклонимъ теперь маятникъ и предоставимъ его самому себѣ; при этомъ маятникъ начнетъ качаться въ опредѣленной плоскости, именно проходящей чрезъ тотъ діаметръ круга, по которому мы его отклонили въ началѣ опыта. Если плоскость качаній нашего маятника опредѣлить какъ-нибудь внѣ стола или штатива, напр. относительно стѣнъ комнаты, то опять-таки придемъ къ заключенію о неподвижности этой плоскости. Но пусть нашъ маятникъ качается и мы медленно, безъ толчковъ станемъ повертывать столъ около его оси; въ какомъ отношеніи будетъ тогда плоскость качаній маятника къ радіусамъ раздѣленнаго круга или къ внѣшнимъ предметамъ, напр. къ стѣнамъ комнаты? Не подумаемъ-ли мы, что плоскость качаній будетъ увлечена столомъ и измѣнитъ свое направленіе въ комнатѣ, сохраняя одно и то же направленіе относительно раздѣленнаго круга? Нѣтъ! Происходитъ совершенно обратное. Плоскость качаній маятника не матеріальна; она не принадлежитъ ни штативу, ни столу, она принадлежитъ пространству. Движеніе,

сообщенное окружающимъ предметомъ, измѣняетъ ихъ положеніе относительно плоскости качаній маятника; такъ что, вращая столъ, мы заставляемъ различные діаметры круга послѣдовательно совпадать съ этою плоскостью качаній, остающеюся неподвижною.

Пока приборъ нашъ центрированъ на столѣ и послѣдній лишь вращается около своей оси, плоскость качаній маятника абсолютно неподвижна. Теперь представимъ себѣ, что штативъ нашъ помѣщенъ на краю стола; когда послѣдній вращается, вертикаль, проходящая чрезъ точку перевѣса маятника и всегда остающаяся въ плоскости его качаній, теперь эксцентрична и потому принуждена совершать передвиженіе, котораго прежде не было; это движеніе увлекаетъ и плоскость качаній, которую уже нельзя считать абсолютно неподвижною. Потеряетъ-ли она и неизмѣнность своего направленія? Нисколько! Эта плоскость слѣдуетъ за своею вертикалью, но направленіе ея не измѣняется; если сначала наша плоскость была параллельна одной изъ стѣнъ комнаты, то она остается параллельною ей, приближаясь или удаляясь отъ нея. То же самое представитъ намъ буссоль, которую станемъ переносить туда и сюда: остріе будетъ увлекать за собою магнитную стрѣлку, но послѣдняя не измѣнитъ своего направленія. По отношенію къ маятнику точка привѣса имѣетъ то же значеніе, что остріе для магнитной стрѣлки: она увлекаетъ за собою маятникъ, но не можетъ повернуть его плоскости качаній, и эта плоскость остается параллельною самой себѣ. Въ то время, какъ столъ вращается около своей оси, увлекая за собою приборъ съ маятникомъ, поставленный въ сторонѣ отъ центра, онъ сообщаетъ общее поступательное движеніе какъ плоскости качаній, такъ и раздѣленному кругу; но послѣдній кромѣ того вращается; плоскость качаній маятника этого не дѣлаетъ. Можно отвлечься отъ общаго поступательнаго движенія и тогда мы имѣемъ предыдущій случай, въ которомъ такъ ясно виденъ контрастъ между неподвижностью плоскости качаній и вращеніемъ круга около центра. Можно осложнить нашъ опытъ: одновременно съ вращеніемъ стола около его оси станемъ перемѣщать его по комнатѣ: точка привѣса маятника станетъ описывать кривую, но его плоскость качаній останется все-таки параллельною самой себѣ.

До сихъ поръ мы представляли себѣ наблюдателя внѣ той небольшой арены, гдѣ проявлялось перемѣщеніе окружающихъ

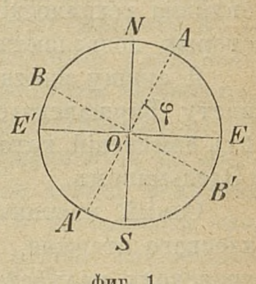
предметовъ относительно плоскости качаній маятника, нашъ наблюдатель замѣчалъ неизмѣнность этой плоскости. Но представимъ себѣ, что арена наблюденій расширяется, и въ нее входитъ самъ наблюдатель; пусть вращательное движеніе распространяется на всю комнату, въ которой онъ дѣлаетъ опытъ; тогда явленія представятся наблюдателю совершенно обратными: ему покажется, что плоскость качаній отклоняется относительно окружающихъ предметовъ, которые въ дѣйствительности движутся. Иллюзія будетъ еще полнѣе если сама земля вращается въ пространствѣ. Поэтому свободный маятникъ послѣдовательно описываетъ траекторіи, которыя кажутся намъ наклоненными другъ къ другу; но силою умозаключеній мы замѣняемъ это кажущееся дѣйствительнымъ и приходимъ къ заключенію, что плоскость качаній маятника не измѣняетъ своего направленія, но мы сами вмѣстѣ съ землею вращаемся въ обратную сторону.

Въ какую сторону должно происходить „вращеніе" плоскости качаній маятника? Не забудемъ, что эта плоскость неподвижна въ пространствѣ и вращается только кажущимся образомъ; вслѣдствіе вращенія земли на небесномъ сводѣ мы постоянно наблюдаемъ подобное же кажущееся вращеніе солнца и неподвижныхъ звѣздъ. Понятно, что плоскость качаній маятника должна представляться намъ отклоняющеюся въ ту же сторону, въ которую „вращаются" солнце и неподвижныя звѣзды, т. е. съ востока на западъ чрезъ югъ.

Нетрудно сообразить съ какою скоростью будетъ „вращаться" плоскость качаній маятника; въ разныхъ мѣстахъ земли эта скорость различна. Сначала представимъ себѣ, что опытъ дѣлается на сѣверномъ полюсѣ земли и маятникъ подвѣшенъ къ точкѣ, лежащей на продолженіи земной оси; понятно, что плоскость такого маятника, отклоняясь влѣво для смотрящаго на него наблюдателя, „повертывается" на 360° въ сутки; на южномъ полюсѣ плоскость качаній маятника „повертывается" съ такою же скоростью вправо. На экваторѣ плоскость качаній маятника вовсе не отклоняется (или отклоняется со скоростью равною нулю), ибо здѣсь и элементъ меридіана не вращается, а перемѣщается параллельно самому себѣ. Для точки A (фиг. 1) земной поверхности, находящейся на широтѣ φ, дѣйствительное вращеніе земли около оси NS можно замѣнить двумя вращеніями около оси ACA' со скоростью $360^\circ \sin\varphi$ въ сутки и около перпендикулярной оси BCB' (которая лежитъ въ одной плоскости съ

ACA' и NCS) со скоростью $360^o \cos \varphi$. Для Варшавы плоскость качаній маятника повертывается на 285° въ сутки или приблизительно на 12° въ часъ.

Изъ всего предыдущаго слѣдуетъ, что вращеніе земли можно обнаружить при помощи свободнаго маятника; было найдено, что при этомъ маятникъ долженъ качаться съ очень малою амплитудою (угловою) и находиться лишь подъ дѣйствіемъ одной силы тяжести; но чтобы путь, описываемый чечевицею качающагося маятника, былъ все-таки значителенъ, маятникъ стараются сдѣлать по возможности длиннымъ; такъ Фуко, сдѣлавъ предварительный опытъ въ подвалѣ своего дома съ маятникомъ въ 2 m. длины, повторилъ его въ Парижской обсерваторіи съ маятникомъ въ 11 m. и наконецъ (1851 г.) въ Парижскомъ Пантеонѣ съ маятникомъ въ 67 m. длины. Послѣдній опытъ особенно извѣстенъ въ исторіи физики. Этотъ маятникъ былъ образованъ изъ крѣпкой стальной проволоки съ чечевицею въ 28 kgr. на концѣ; подъ нимъ помѣщалась круглая доска, раздѣленная на градусы по краю; маятникъ осторожно приводился въ колебанія; послѣ каждаго полнаго качанія, продолжавшагося 16 секундъ, онъ возвращался къ краю доски на 2 или 3 mm. лѣвѣе своего предыдущаго положенія; отклоненіе плоскости маятника возростало пропорціонально времени. Для бóльшаго удобства наблюденій снизу чечевицы было придѣлано остріе, а на краю деревяннаго круга былъ насыпанъ валъ изъ мелкаго песка; при первомъ качаніи маятника его остріе срѣзывало верхушку вала въ одномъ мѣстѣ, а при слѣдующихъ качаніяхъ въ другихъ мѣстахъ, лежащихъ лѣвѣе; такимъ образомъ передъ глазами зрителей сохранялся матеріальный слѣдъ вращенія земли.



фиг. 1.

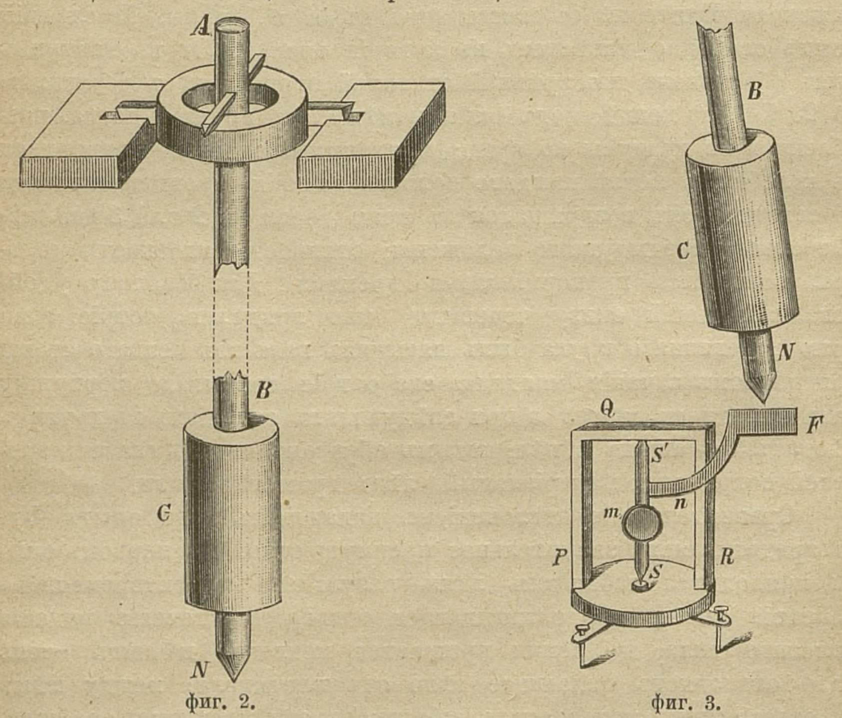
Сравнительно съ отклоненіемъ падающихъ тѣлъ опытъ Фуко представляетъ значительное преимущество. Въ первомъ опытѣ приходится наблюдать лишь результатъ кратковременнаго дѣйствія земли, продолжающагося только въ теченіе паденія тяжелаго тѣла; но земля вращается медленно и лишь очень мало отклоняетъ падающее тѣло отъ вертикали; между тѣмъ въ опытѣ Фуко малое отклоненіе плоскости маятника, сообщенное ей во второе качаніе, прибавляется къ отклоненію, сообщенному въ первое качаніе и т. д.; всѣ эти отклоненія суммируются,

и опытъ можно продолжать до тѣхъ поръ, пока не накопится достаточное отклоненіе.

Опытъ Фуко не изъ легкихъ; да не всегда и не всюду его можно дѣлать въ такихъ размѣрахъ, въ которыхъ самому Фуко удалось его сдѣлать всего одинъ разъ. По этому весьма важны новѣйшія техническія измѣненія въ устройствѣ маятника Фуко, которыя позволяютъ каждому повторять этотъ важный опытъ.

Я опишу маятникъ Фуко, принадлежащій физическому кабинету Варшавскаго университета и представляющій сочетаніе тѣхъ измѣненій, которыя были предложены Камерлингъ-Оннесомъ и Эдельманомъ.

Самый маятникъ сдѣланъ не изъ проволоки, а изъ металлическаго стержня, верхній конецъ котораго укрѣпленъ на кардановскомъ подвѣсѣ; такой маятникъ достаточно сдѣлать около метра длины; стержень AB (фиг. 2) маятника продолжается магнитомъ, оканчивающимся остріемъ N; на нижнюю часть маятни-



фиг. 2. фиг. 3.

ка надѣтъ массивный свинцовый цилиндръ C. Для того, чтобы слѣдить за плоскостью качаній маятника, очень удобно пользо-

ваться зеркальнымъ приборомъ Эдельмана, который помѣщается подъ маятникомъ; этотъ приборъ состоитъ изъ столика, на которомъ укрѣплена рамка *PQR* (фиг. 3); въ столикъ и въ верхнюю перекладину рамки упираются заостренные концы стержня *SS'*; при помощи очень простыхъ приспособленій, не указанныхъ на нашемъ чертежѣ, этотъ стержень можно установить вертикально, такъ чтобы его ось проходила чрезъ остріе магнита *N*, когда маятникъ въ покоѣ. Къ стержню *SS'*, который удобоподвиженъ около своей вертикальной оси, прикрѣплены зеркальцо *m* и алюминіевый рычажокъ *n*, оканчивающійся желѣзнымъ ножомъ *F*. Когда маятникъ качается, то ножъ притягивается къ магниту *N* и располагается по пути движенія его конца; вслѣдствіе этого стержень *SS'* вмѣстѣ съ зеркальцемъ *m* совершаетъ такое же кажущееся движеніе, какъ и плоскость нашего качающагося маятника. На зеркальце *m* направляютъ пучокъ лучей, который бы послѣ отраженія отъ него попадалъ на отдаленную шкалу.

Самый опытъ дѣлаютъ такъ: сначала маятникъ отклоняютъ въ сторону (при чемъ остріе *N* должно быть противъ конца ножа *F*) при помощи нитки, привязанной однимъ концомъ къ маятнику, а другимъ къ подставкѣ, внутри которой онъ виситъ; когда маятникъ успокоится (что происходитъ очень скоро), эту нить пережигаютъ, и зайчикъ начинаетъ плавно перемѣщаться вдоль шкалы, наглядно обнаруживая вращеніе земли около ея оси.

Электромагнитная турбина

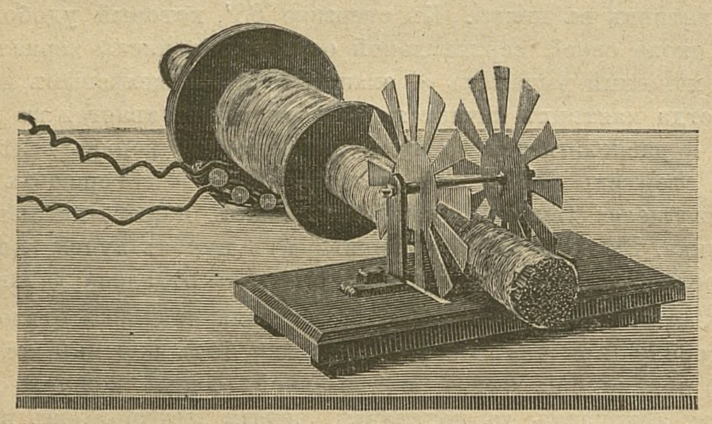
Н. А. Орлова.

Поразительный по изяществу и простотѣ опытъ Эліу Томсона съ тяжелымъ кольцомъ, взлетающимъ надъ электромагнитомъ при пропусканіи чрезъ него перемѣннаго тока, превосходно иллюстрируетъ явленіе выбрасыванія замкнутыхъ проводниковъ волнующимся магнитнымъ полемъ.

Очень несложное приспособленіе даетъ возможность, нѣсколько измѣнивъ условія опыта, превратить эти одиночные от-

талкиванія въ непрерывное вращательное движеніе и получить такимъ образомъ схему *электромагнитной турбины,* непосредственно приводимой въ движеніе послѣдовательно набѣгающими магнитными волнами, бьющими о замкнутый проводящій контуръ-экранъ.

Помѣщенный здѣсь рисунокъ изображаетъ необходимый для этой цѣли приборчикъ.



фиг. 1.

Два колеса одинаковаго размѣра, вырѣзанныя изъ листа красной мѣди, связаны общею мѣдною осью и нижними своими частями погружаются въ чашечки со ртутью (какъ въ колесѣ Барлоу), соединенныя между собою короткимъ проводникомъ. Такимъ образомъ получается замкнутая на себя хорошо проводящая цѣпь (колесо, ось, другое колесо и проводникъ, соединяющій ртутныя чашечки), обладающая необходимыми электромагнитными свойствами кольца Э. Томсона.

Промежутокъ между колесами и радіусъ послѣднихъ выбраны такъ, что туда свободно можетъ войти сердечникъ электромагнита.

Если, расположивъ томсоновскую катушку горизонтально и вдвинувъ ея длинный сердечникъ, какъ показано на рисункѣ, внутрь описаннаго контура, замкнуть перемѣнный токъ, то колеса приходятъ въ энергичное вращеніе. Турбина работаетъ безостановочно и равномѣрно, благодаря тому, что индуктируемый контуръ, мѣшающій свободному распространенію магнитныхъ волнъ въ сердечникѣ, при всякомъ положеніи колесъ ока-

зывается замкнутымъ, и моментъ вращенія во все время опыта существенно не измѣняется.

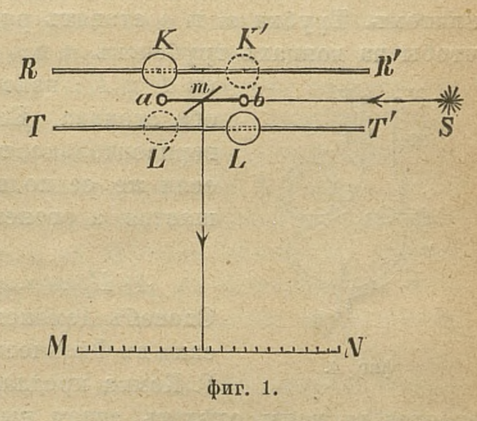
Съ удаленіемъ турбины отъ катушки, посылающей волны, скорость вращенія колесъ правильно убываетъ, соотвѣтственно измѣненію амплитуды магнитныхъ волнъ, добѣгающихъ до прибора, и можетъ быть снова увеличена, если подходящимъ размѣщеніемъ желѣзныхъ массъ передъ сердечникомъ ослабить боковое разсѣяніе энергіи и тѣмъ увеличить живую силу ударовъ, принимаемыхъ контуромъ.

Спб., Физ. Лаб. Мед. Акад. 1902.

Физическій кабинетъ.

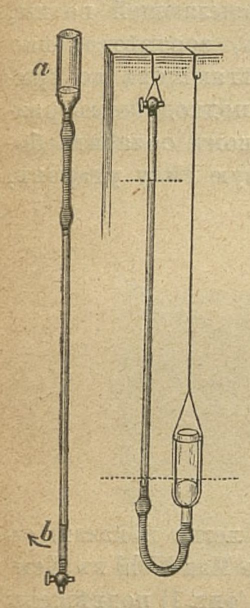
---

1) *Опытъ Кавендиша.* Всемірное тяготѣніе легко показать съ приборомъ Кавендиша, изготовляемымъ фирмою Max Kohl въ Хемницѣ (цѣна 300 Mk.). Отклоняемые шарики a и b (фиг. 1) подвѣшены на кварцевой нити въ 40 cm. длины; отклоняющіе шары K и L передвигаются по горизонтальнымъ прутьямъ RR' и TT', прикрѣпленнымъ къ стѣнѣ; къ рычагу, на концахъ котораго насажены отклоняемые шарики, прикрѣплено зеркальце m; на него пускаютъ пучекъ лучей отъ дуговой лампы S; послѣ отраженія отъ зеркальца эти лучи попадаютъ на шкалу MN (метра 2 длиною), повѣшенную на противоположной стѣнѣ (въ 12 m. разстоянія отъ зеркальца). При перемѣщеніи отклоняющихъ шаровъ изъ K, L въ K', L', свѣтлое пятно начинаетъ медленно передвигаться вдоль шкалы; если затѣмъ отклоняющіе шары возвратить въ прежнее положеніе K, L, то свѣтлое пятно останавливается и затѣмъ начинаетъ двигаться назадъ.



фиг. 1.

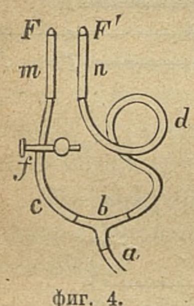
2) *Опытъ Торричелли.* Берутъ стеклянную трубку (около 1 m. длины) съ краномъ на одномъ концѣ и слегка отгибаютъ края на другомъ концѣ (для чего его размягчаютъ на огнѣ); на послѣдній конецъ надѣваютъ толстостѣнную каучуковую трубку (около 30 cm. длины), другой конецъ которой надѣваютъ на горлышко небольшой аптекарской стекляночки; концы каучука крѣпко привязываютъ мѣдными проволоками. Помѣстивъ приборъ отвѣсно (фиг. 2), наполняютъ его ртутью до уровня *a*; затѣмъ, взявъ въ одну руку стклянку, а въ другую трубку *b*, повертываютъ послѣднюю въ положеніе, показанное на фиг. 3. Если нужно вылить ртуть, то приборъ приводятъ въ первое положеніе и открываютъ кранъ.



фиг. 2. фиг. 3.

(ZS. f. ph. Unt. XV).

3) *Уменьшеніе давленія атмосферы съ высотою.* Т-образная трубка *b* (фиг. 4) соединяется каучукомъ *a* съ газопроводною трубкою и каучуками *b* и *c* съ металлическими трубками *m* и *n* (10 mm. діаметра); *f* зажимъ съ винтомъ. Трубки *m* и *n* ставятъ рядомъ; газъ открываютъ такъ, чтобы на концахъ трубочекъ *m* и *n* получились маленькіе огоньки *F* и *F'*; наконецъ зажимомъ сравниваютъ оба огонька. Если трубочку *m* перемѣщать горизонтально, то ея огонекъ не измѣняется; если же ее поднять, то огонекъ *F'* уменьшается, а огонекъ *F* увеличивается.



фиг. 4.

(ZS. f. ph. Unt. XV).

4) *Преломленіе и полное отраженіе лучей.* Способъ демонстрированія явленій уже описанъ въ Физическомъ Обозрѣніи (1 т., стр. 302). Г. Кемна предлагаетъ въ доскѣ, которая опускается въ воду, сдѣлать снизу вырѣзку и въ нее помѣщаетъ калильную лампочку, покрытую чернымъ лакомъ; послѣдній снятъ по ряду полосокъ перпендикулярныхъ къ доскѣ; изъ этихъ щелей выходятъ „лучи"; одни изъ нихъ, преломляясь, выходятъ въ воздухъ, другіе вполнѣ отражаются отъ свободной поверхности воды.

(ZS. f. ph. Unt. XV).
